

ISSN: 2538-3809

فصلنامه علمی تخصصی

**മുൻനിശ്ചയിച്ച
പ്രവർത്തനങ്ങൾ**

سال ششم، شماره ۱ (پیاپی ۳۳)، بهار ۱۴۰۰، جلد دو

بررسی تکنولوژی ساختمان‌های هوشمند با تأکید بر استفاده از فناوری‌های نوین معماری در کاهش انرژی ساختمان

جمال الدين هنرور، سعيد حقیقی

یک مدل جدید برای اختلالات میزان نفوذپذیری به دلیل رسوب آسفالتین

سید بہروز کشاورز، علی جلوہ گر فیلبنڈ

تست و ارزیابی سازه در شرایط چالش برانگیز دهانه چاه در میادین نفتی ایران

فرشاد درخشان، محمد امین آریانا

مطالعه و بررسی کاربردهای فرایند الکتروریزپوشانی در صنایع غذایی

علی عزیزی

شناسایی و ارزیابی ریسک‌های ایمنی بخش‌های اداری و عملیاتی، ذوب آهن، باسارگاد

عملیاتی ذوب آهن پاسارگاد

واحد آزوج



نشریه

تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
نشانی: کرج، آزادگان، ابتدای بلوار مطهری، کوچه شهید سنجابی، پلاک ۲۸، واحد ۴

صاحب امتیاز و مدیر مسئول: امیر حسین یوسفی
زیر نظر شورای سردبیری
مدیر اجرایی: منیژه ملائی

اعضای شورای علمی و داوری تحریریه: (به ترتیب حروف الفبا)

- دکتر محمدعلی ارجمند، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت‌دبیر شهید رجایی
- دکتر شهرزاد اسدی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر رضا افضل، عضو هیئت علمی دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
- دکتر علی جباری، عضو هیئت علمی دانشگاه اراک
- دکتر نعمت حسینی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر راحله خادمیان، عضو هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
- دکتر چنگیز دهقانپایان، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران
- دکتر علی رحمانی هنزکی، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت‌دبیر شهید رجایی
- دکتر قدرت الله رودینی، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر محبعلی رهدار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر مرتضی زیودار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر علی فروغی، عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز
- دکتر محمدحسین کاظمی، عضو هیئت علمی دانشگاه شاهد
- دکتر علی لکی روحانی، عضو هیئت علمی دانشگاه زنجان
- دکتر سیدحمید هاشمی، عضو هیئت علمی دانشگاه اراک
- دکتر هجیر کریمی، عضو هیئت علمی دانشگاه یاسوج

فراخوان پذیرش مقاله:

نشریه «پژوهش‌های نوین علوم مهندسی» توسط موسسه مطبوعاتی مطالعات کاربردی شبک و با همکاری علمی اساتید برجسته دانشگاه‌های کشور به انتشار مقالات علمی در حوزه‌های مختلف علوم مهندسی می‌پردازد. از این‌رو از تمام اساتید، صاحب‌نظران، کارشناسان، دانشجویان و پژوهشگران دعوت می‌شود با ارسال مقالات علمی خود از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.Nres.ir در پربارتر کردن این نشریه، ما را یاری نمایند. برای ارسال مقاله کافی است تا در وبسایت ثبت‌نام نموده و با ورود به پندل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید.

محورها و موضوعات پذیرش مقاله:

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| - مهندسی صنایع | - مهندسی برق و الکترونیک |
| - مهندسی عمران | - مهندسی انرژی و فیزیک |
| - مهندسی مکانیک | - مهندسی شیمی، نفت و پلیمر |
| - مهندسی معدن | - مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات |
| - مهندسی هوا فضا | - مبانی علوم مهندسی |
| - مهندسی مواد و متالورژی | - مدیریت دانش در علوم مهندسی |

چاپ

انتشارات هنر و علوم دانشگاهی، تلفن: ۰۲۱ ۳۳۸۴۰۷۹۲
نشانی: تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۴

۰۲۶۴۴۴۵۳۱۳۱ / ۰۲۱ ۳۳۲۰۲۴۸۷
@Shij.journals@gmail.com
www.NRES.ir

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	بررسی تکنولوژی ساختمان‌های هوشمند با تأکید بر استفاده از فناوری‌های نوین معماری در کاهش انرژی ساختمان جمال‌الدین هنرور، سعید حقیقی
۱۵	یک مدل جدید برای اختلالات میزان نفوذپذیری به دلیل رسوب آسفالتین سید بهروز کشاورز، علی جلوه گر فیلبند
۲۷	تست و ارزیابی سازه در شرایط چالش برانگیز دهانه چاه در میداین نفتی ایران فرشاد درخشان، محمد امین آریانا
۳۷	مطالعه و بررسی کاربردهای فرایند الکتروریزپوشانی در صنایع غذایی علی عزیزی
۴۷	شناسایی و ارزیابی ریسک‌های ایمنی بخش‌های اداری و عملیاتی ذوب آهن پاسارگاد واحد آزوج

بررسی تکنولوژی ساختمان‌های هوشمند با تأکید بر استفاده از فناوری‌های نوین معماری در کاهش انرژی ساختمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۴

کد مقاله: ۲۰۳۳۰

جمال‌الدین هنرور^{۱*}، سعید حقیقی^۲

چکیده

تکنولوژی در فرهنگ لغات، ابزاری تکنیکی برای رسیدن به اهداف عملی است. در دنیای امروز بشر با استفاده از این تکنولوژی به اهداف زیادی دست می‌یابد که مهم‌ترین آن‌ها کاهش مصرف انرژی است. در دنیای پیشرفته‌ی امروز صنعت ساختمان، سرمایه‌گذاری کلان، درازمدتی بوده و می‌بایست این صنعت را با کمک تکنولوژی و فناوری‌های روز جهان از کهنگی دورنگه داشت. هزینه‌ی یک ساختمان تنها هزینه‌ی طراحی و ساخت نبوده بلکه هزینه‌ی نگهداری و استفاده از آن را نیز شامل می‌شود. اغلب ساختمان‌ها فاقد امکانات لازم برای مدیریت انرژی می‌باشند و نمی‌توانند پاسخ گوی تحولات محیط، نیازهای جدید باشند. امروزه از تکنولوژی‌های جدید ساخت خانه‌های هوشمند به‌منظور ایجاد آسایش و امنیت بیشتر و صرفه‌جویی در هزینه‌ها با کاهش در مصرف منابع انرژی بهره ساختمان استفاده می‌کنند. هدف این تحقیق بررسی مفاهیم و خواستگاه تکنولوژی ساختمان‌های هوشمند با تأکید بر استفاده از فناوری‌های نوین کاهش انرژی ساختمان است. روش تحقیق اسنادی و روش توصیفی باهدف کاربردی است که از ابزار مطالعات کتابخانه‌ای و اسناد و مدارک موجود در سایت‌ها و درگاه‌های اینترنتی و مطالعات نظری در این رابطه بهره برده است. همچنین از روش فرا تحلیل در جمع‌بندی مطالعات و مبانی نظری و روش تحلیلی در تحلیل دیدگاه‌ها و افکار، پیرامون برهمکنش ارتباط «تکنولوژی، معماری و خانه هوشمند و انرژی ساختمان»، استفاده شده است. روش فرا تحلیل با جمع‌بندی مبانی نظری و تحقیقات انجام‌شده درباره ماهیت تحقیق، ابعاد مرتبط با موضوع را مورد ارزیابی قرار داده و لذا در این مقاله به ارتباط فی‌مابین انرژی ساختمان، تکنولوژی و زمینه‌های فیزیکی ساختمان هوشمند پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: تکنولوژی ساختمان، خانه هوشمند، کاهش انرژی، فناوری‌های نوین، معماری

۱- کارشناس ارشد معماری از دانشگاه تهران مرکز و پژوهشگر دکترای معماری (نویسنده مسئول)

honarvar.arch@gmail.com

۲- دکتری معماری و استادیار دانشکده هنر و معماری دانشگاه آزاد اسلامی همدان

۱- مقدمه

با ورود به عصر شبکه‌های هوشمند و ظهور موضوعاتی همچون زیرساخت‌های ارتباطی و اطلاعاتی پیشرفته، ارتباط دوطرفه، زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته، سیستم‌های ذخیره انرژی و شبکه‌های محلی، الگوهای مصرف برق و صرفه‌جویی در انرژی را متحول کرده‌اند. همراه با ظهور فن‌آوری‌های کنترل خودکار شبکه‌های انرژی و توزیع گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر از طریق این شبکه‌ها، یک تحول عمیق برای الگوی مدیریت انرژی از زیرساخت متمرکز به نظام مبتنی بر پاسخگویی به تقاضای مستقل انرژی و سیستم‌های سایر منابع انرژی تجدیدپذیر و ذخیره‌شده وجود دارد.

این جهان نو به دست بشری ساخته شد که یک نسبت خاصی با هستی و جهان و خودش پیدا کرده بود. حضور تکنولوژی در عرصه‌های مختلف از شکل‌گیری تفکر اولیه، فرآیند تکامل تفکر، فرآیند طراحی و ساخت تا بهره‌برداری از اثر به اشکال مختلفی می‌باشد و با این حضور تأثیرات مختلفی را بر معماری می‌گذارد. امروزه نگاه به تکنولوژی در معماری ایران تنها از زاویه کمی و فیزیکی می‌باشد و معمولاً از ابعاد غیر فیزیکی آن (من جمله ارتباط با آن با هویت و فرهنگ) غفلت می‌گردد. تکنولوژی را برخی، ابزار صرف پنداشته که خنثی و بی‌اثر می‌باشد و تأثیری را از جانب آن بر آثار و محیط پیرامونی آن متصور می‌باشند. این در حالی است که از طرفی تفکر تکنولوژیکی انسان معاصر که برآمده از تغییرات صورت گرفته در عرصه‌های نظری و عملی بعد از انقلاب صنعتی می‌باشد، تمام حوزه‌های زندگی انسان معاصر را تحت تأثیر خود قرار داده و دگرگون ساخته است (وفامهر، ۱۳۹۲؛ وفامهر، ۱۳۹۱ رهنریا و رهنورد، ۱۳۸۵).

در سال‌های اخیر، توسعه یک زیرساخت شهری مدرن به دلیل مزیت‌های محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی که می‌تواند به یک زیرساخت جهانی تبدیل شود، به‌عنوان یک اولویت مشترک جهانی تبدیل شده است. به‌طور خاص، استفاده هوشمندانه از انرژی برق در سمت تقاضا نقش مهمی در بهبود پایداری و حفظ انرژی برای کاربران خانگی دارد. پیشرفت‌های اخیر در فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته (AMI)، فناوری‌های حسگر هوشمند، ارتباطات دوطرفه، لوازم خانگی هوشمند، شبکه محلی خانگی (HAN) و سیستم ذخیره انرژی خانگی (HESS) و غیره توسعه یافته است. بنابراین، این روند رو به رشد، بنیاد فنی و زیرساخت‌های خانه هوشمند را با سیستم مدیریت انرژی خانگی (HEMS) فراهم می‌کند (میرزایی، ۱۳۹۷: ۱۳).

سیستم مدیریت تقاضا در شبکه‌های هوشمند وسایل خانگی مختلف را بر اساس تنظیمات کاربر از طریق رابط انسان و دستگاه در خانه‌های هوشمند نظارت می‌کند تا صرفه‌جویی برق و بهبود کارایی انرژی را بهبود بخشد. با توجه به نگرانی‌های روزافزون در مورد امنیت جهانی انرژی و گسترش استفاده از تکنولوژی‌های دوستدار محیط‌زیست در تولید انرژی، از قبیل توربین‌های بادی، پانل‌های خورشیدی و وسایل نقلیه الکتریکی (PEV)، و غیره، می‌تواند با بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای بهبود کارایی خانه در تبدیل انرژی و بهره‌برداری مورد استفاده قرار گیرد. اعمال این تغییرات منجر به تغییرات اساسی سیستم‌های مدیریت انرژی مدرن از زیرساخت‌های سنتی متمرکز به سیستم‌های مستقل با استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر می‌گردد (قربانی، ۱۳۹۱).

نیاز گسترده و روزافزون جامعه به ساختمان و مسکن، ضرورت استفاده از سیستم‌های ساختمانی و مصالح جدید به‌منظور ارتقا کیفیت ساختمان، افزایش سرعت ساخت، افزایش عمر ساختمان، کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه را بیش‌ازپیش مطرح ساخته است. از سوی دیگر افزایش مصرف انرژی در بخش ساخت‌وساز و کاهش منابع انرژی، بهینه‌سازی مصرف انرژی به‌عنوان یک ضرورت بشمار می‌آید.

حل مشکلاتی مانند مصرف زیاد انرژی و هزینه‌های زیاد، نیازمند ارائه راهکارهایی به‌منظور استفاده عملی از سیستم‌های ساختمانی نوین و مصالح ساختمانی جدید است. این اقدامات در درازمدت موجب رسیدن به شرایط اجرایی مطلوب، بهینه‌سازی ساخت، افزایش تولید صنعتی ساختمان و نیز افزایش تولید مسکن در کشور خواهد شد (میرزایی، ۱۳۹۷: ۱۸).

در کشور ما نیز باوجود بهره‌گیری از منابع گسترده انرژی‌های تجدید ناپذیر، به علت استفاده بی‌رویه و تلف کردن این انرژی‌های گران، خسارات و هزینه‌های گزافی به بودجه کشور وارد می‌شود که می‌توان با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های نوین ساخت در جهان، این هزینه‌ها را به حداقل رساند. در ایران در بخش ساختمان با مصرف بیش از ۴۰٪ کل انرژی تولیدشده کشور و مصرف هزینه‌ای معادل ۳۰٪ از درآمد حاصل از فروش نفت، بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به این بخش است (میربخت، ۱۳۹۷). بهینه‌سازی مصرف انرژی از طریق مدیریت آن در امر ساخت‌وساز از جایگاه مهمی به‌ویژه در کشور ما برخوردار است یکی از راه‌های مؤثر کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان استفاده از مصالح و تکنولوژی‌های نوین ساخت‌وساز است. هدف از این پژوهش بررسی تکنولوژی ساختمان‌های هوشمند با تأکید بر استفاده از فناوری‌های نوین در جهت کاهش انرژی ساختمان است. بنابراین پژوهش با این سؤال آغاز می‌شود که در دنیا چه کشورهایی پیش‌تاز در این زمینه هستند و جهت کاهش انرژی‌های ساختمان از چه فناوری‌های نوینی می‌توان بهره گرفت؟ در ادامه اینکه فناوری‌های نوین ساختمان تا چه اندازه بر مصرف انرژی خانه‌های ما تأثیر گذارند؟

۲- پیشینه تحقیق

مفهوم تکنولوژی را می‌توان از جنبه‌های گوناگون و با رویکردهای مختلف موردتوجه قرارداد. توجه به جنبه‌های مختلف علمی، فلسفی، اجتماعی، فرهنگی و حتی اخلاقی و سیاسی تکنولوژی روز به‌روز پررنگ‌تر و پرمایه‌تر می‌شود. امروزه رویکردهای فلسفی به تکنولوژی اهمیت بالایی یافته است (اسدی و موسوی مهر، ۱۳۸۹: ۷۰)؛ چنانچه اولین فیلسوفانی که «فلسفه تکنولوژی» را مطرح کردند و یا به نحوی زمینه‌ساز این تفکر شدند، فیلسوفان مدرن هستند که زمینه‌هایش توسط «فرانسیس بیکن»، «گالیله» و دیگر متفکران دوره رنسانس ایجاد شده بود. انقلاب صنعتی، انقلابی نبود که به قرن خاصی منتهی شود، این انقلاب زمینه‌ساز انقلاب‌های مدرن در قرن‌های حاضر شد که از آن جمله می‌توان به انقلاب فناوری اطلاعات» به‌عنوان علم و تکنولوژی روز دنیا اشاره کرد که در آینده می‌توان انقلاب‌های بزرگی مانند «انقلاب ژنتیک»، «تکنولوژی پلاسما»، «انقلاب الکترونیکی هوش‌های مصنوعی» و «عصر مجازی» را، که همگی زاینده اندیشه‌ای است که موتورهای آتشین (انقلاب صنعتی نخستین را به پیدایی آورد، نظاره‌گر شد. این انقلاب‌ها بی‌تردید به‌زودی جهان را زیر رو خواهد کرد. حتی می‌توان گفت که نوع روابط انسانی نیز چنان‌که «کوبین کلی» و «مانوئل کاستلز» و دیگر فن‌شناسان معاصر دگرگون خواهد شد. تکنولوژی ریشه یونانی دارد و از دو واژه Techne و Logic تشکیل شده است. «تخنه» به معنای هنر، مهارت و آن چیزی است که آفریده دست انسان است و در مقابل Arche به معنای آفریده خدا است. «لوژی» در یونان قدیم به معنی دانش و خرد به‌کاررفته است (عبدالکریمی، ۱۳۹۷: ۶۷). به‌این‌ترتیب می‌توان گفت که تکنولوژی به معنای آمیزه هنر و مهارت بادانش است. می‌توان گفت که انسان خردمند در تعامل با طبیعت به قوانین عام آن دست می‌یابد و با بازآفرینی این قوانین توسط علم و دانش در محیط و شرایط دلخواه کاربردهای موردنظر خود را ایجاد می‌نماید (محمود نژاد، ۱۳۸۰: ۲۱). «ارنست کاپ» در کتاب «فلسفه تکنولوژی» در سال ۱۸۷۷ احتمالاً اولین کسی بود که ارتباط بین نارسایی‌های اندامی انسان و هوش مبذع و نوآور او را متذکر شد. کمی بعداز آن فیلسوف زبان، «لودویگ نویره» در کتاب «ابزار» در سال ۱۸۸۰ نوشت: «آنگاه انسان از طبیعت آزاد شد زیرا او خالق خود گردید، اعضای خود را آفرید، یک ابزارساز شد، یک حیوان ابزارساز» (گلن، آرتور، ۱۳۸۸). کلمه «تکنیک» در اصل فرانسوی و به معنی فن، صنعت، علم، هنر و حرفه است؛ همین‌طور به فن‌شناسی، علم فن و صنعت، تکنولوژی گفته می‌شود. درعین‌حال نظرات متفاوتی بر محدوده مفهوم تکنولوژی وجود دارد؛ ازجمله تعریفی که علم را درون تکنولوژی جای می‌دهد «کاربرد دانش علمی و دانش: منظم دیگر برای امور عملی به‌وسیله سیستم‌های منظمی که شامل مردم، سازمان‌ها، اشیاء زنده و ماشین‌ها می‌شود» (رهبرنیا و رهنورد، ۱۳۸۵: ۱۰۲). یکی از پیامدهای پیشرفت تکنولوژی یکسان و یکنواخت شدن معماری در نقاط مختلف کشور است. درحالی‌که پیش‌ازاین شکل ساختمان‌ها، بافت محله‌ها و ساختار شهر گویای ویژگی‌های فرهنگی و ذوق‌های بومی ساکنان آن‌ها بود. زیرا سیستم تکنولوژی طوری تعریف‌شده است که در برابر خصیصه‌های فرهنگی و محلی حساسیت چندانی نداشته باشد (جعفری و مهدوی پور، ۱۳۹۲: ۵۲). از سویی دیگر، بر اساس نظرات «پل آلبرگ» در کتاب «معمای انسان» در سال ۱۹۲۲، «خوزه ارتگای گاست» در کتاب «انسان، موجود ناکجاآبادی» در سال ۱۹۵۱ باید گفت که تکنولوژی ناشی از کاستی‌های اندامی انسان است که به توصیف این امر پرداخته است که انسان در هر محیط طبیعی ناقص، به‌موجب فقدان اندام‌ها و غریزه‌های مناسب، چگونه قادر نیست به موجودیت خود ادامه دهد و درنتیجه چگونه باید برای بقای طبیعی خود با تعبیر هوشمندانه در شرایط پیرامون خود تغییراتی به وجود آورد. کاربرد اسلحه و جنگ‌افزار، آتش و فنون شکار به‌این‌ترتیب مربوط است به نمونه‌های رفتاری طراحی‌شده برای حفظ نوع انسان؛ به‌طوری‌که واژه تکنولوژی باید دلالت کند بر ابزارهای واقعی و مهارت‌های موردنیاز برای آفرینش و کاربرد اموری که برای این موجود دارای فقر غریزه و ناقص امکان حفظ خویشتن را فراهم کند (گلن، ۱۳۸۸). دو گروه عمده از اندیشمندان علوم اجتماعی، سعی کرده‌اند در پاسخ به سؤالات مذکور و همچنین تحولات سیاسی، اجتماعی، فرهنگی که متأثر از تکنولوژی‌های جدید ارتباطی است، به تبیین آن‌ها پرداخته و تئوری فراگیری را در این زمینه ارائه کنند. گروهی عصر جدید را سرآغاز کنترل‌های بی‌رحمانه شهروندان معرفی می‌کنند و درعین‌حال که به‌هیچ‌وجه اهمیت کلیدی اطلاعات را در دنیای جدید انکار نمی‌کنند و حتی از پذیرش جامعه اطلاعاتی برای عصر رسانه‌های ارتباطی جدید بی‌می‌مانند، اما بر استمرار مناسبات حاکم بر جامعه و ثبات آن از گذشته تاکنون اصرار می‌ورزند. (رهبرنیا و رهنورد، ۱۳۸۵: ۱۰۵) از سویی دیگر، گروه دیگر نظریه‌پردازان، عصر حاضر را طلوع جامعه‌ای سرشار از تخصص و مراقبت مطلوب از همه‌چیز در تعامل با تکنولوژی می‌دانند و مدعی‌اند نوع جدیدی از جامعه ظهور کرده است که با گذشته کاملاً متفاوت است. از نظر این گروه، در این جامعه حاکمیت اصلی با رسانه‌های الکترونیک است (جدول شماره ۱). (رهبرنیا و رهنورد، ۱۳۸۵: ۱۰۲).

جدول ۱- رویکردهای متفاوت به تکنولوژی و نظریه پردازان پیرو این رویکردها

رویکرد تکنولوژی	نظریه پرداز	نام نظریه
عصر جدید سرآغاز کنترل‌های بی‌رحمانه شهروندان	هربرت شیلر	مارکسیست‌های نو
	مایکل آگلیتا و آلن لیپیتز	نظریه مقررات گذاری ^۱
	دیوید هاروی	نظریه انباشت انعطاف‌پذیر ^۲
	آنتونی گیدنز	نظریه دولت - ملت و خشونت
	یورگن هابرماس	نظریه عرصه عمومی
عصر حاضر را طلوعه جامعه‌ای سرشار از تخصص و مراقبت مطلوب از همه چیز در تعامل با تکنولوژی	دانیل بل و پیروان او	نظریه فرا صنعتی
	ژان بودریار، مارک پاستر	نظریه پست مدرنیسم
	میشل پیور، چارلز سیبل	تخصصی سازی انعطاف پذیر
	مانوئل کستلز	نظریه شیوه اطلاعاتی توسعه ^۳

(مأخذ: وفامهر، ۱۳۹۲؛ وفامهر، ۱۳۹۱، رهبرنیا و رهنورد، ۱۳۸۵)

۳- روش تحقیق

از آنجاکه رویکرد مقاله حاضر «رویکردی تبیینی» و «غیر اکتشافی» است، و پژوهش حاضر ماهیت نظری دارد؛ لذا روش تحقیق مقاله حاضر «روش اسنادی» و «روش توصیفی» است که از ابزار مطالعات کتابخانه‌ای و اسناد و مدارک موجود در سایت‌ها و درگاه‌های اینترنتی و مطالعات نظری در این رابطه بهره برده است. همچنین از «روش فرا تحلیل» در جمع‌بندی مطالعات و مبانی نظری و «روش تحلیلی» در تحلیل دیدگاه‌ها و افکار، پیرامون برهمکنش ارتباط «تکنولوژی، معماری و خانه هوشمند و انرژی ساختمان»، استفاده شده است. روش فرا تحلیل با جمع‌بندی مبانی نظری و تحقیقات انجام شده درباره ماهیت تحقیق، ابعاد مرتبط با موضوع را مورد ارزیابی قرار داده و لذا در این مقاله به ارتباط فی‌مابین انرژی ساختمان، تکنولوژی و زمینه‌های فیزیکی ساختمان هوشمند پرداخته شده است.

۴- مبانی نظری

۴-۱- تکنولوژی

تکنولوژی در فرهنگ لغات، ابزاری تکنیکی برای رسیدن به اهداف عملی است. تعاریف جدیدتر از تکنولوژی به این امر اشاره می‌کند که نباید تکنولوژی را محدود کرد و آن را با ابزار و ماشین یکی دانست (وودوارد، ۱۳۸۹: ۱۲۵). امروزه سه تعریف در رابطه با تکنولوژی مطرح است؛ تکنولوژی به‌عنوان سخت‌افزار؛ تکنولوژی به‌عنوان نرم‌افزار؛ و تکنولوژی به‌عنوان نهاد» (گلن، آرتور، ۱۳۸۸: ۵۶).

۴-۱-۱- معماری و تکنولوژی به‌عنوان سخت‌افزار

عینی‌ترین تعریف برای تکنولوژی تعریف آن برحسب سخت‌افزار با ابزارها و ماشین‌هاست. در این منظومه، نیروگاه‌های برق، رایانه‌ها و کارخانه‌ها به‌عنوان تکنولوژی‌ها لقب می‌گیرند. این تعریف از تکنولوژی عینی‌ترین، صریح‌ترین و انضمامی‌ترین تعریف تکنولوژی است (گلن، آرتور، ۱۳۸۸: ۵۶).

۴-۱-۲- معماری و تکنولوژی به‌عنوان نرم‌افزار

«ایلول» فیلسوف معروف تکنولوژی با تقابلی که میان سخت‌افزار و نرم‌افزار وجود دارد، تعریفی نرم‌افزارانه از تکنولوژی ارائه کرد و آن را امتزاجی از ابزارها و نسبت‌ها مدنظر قرارداد. حتی «ماکس وبر» هم با ارائه مفهوم عقلانی سازی مانند ایلول ظهور غرب را برحسب نظامی نرم‌افزاری توجیه کرد. در این نظام البته ابزارها و ماشین‌ها نقشی محوری را دارا نیستند و نظامی که مبتنی بر قواعد هدف - وسیله است، هدایت منظومه را بر عهده دارد. بدین گونه بود که تکنولوژی به‌مثابه نرم‌افزار و قواعد مطرح گشت. در این نگاه فکر و ایده و اندیشه‌ای که پشت سر ابزارهای تکنولوژیک قرار دارند، تکنولوژی نام می‌گیرد (گلن، آرتور، ۱۳۸۸: ۵۶).

1 Regulation theory

2 Flexible Accumulation

3 Information mode of Development

۴-۱-۳- تکنولوژی به عنوان نهاد

تکنولوژی کاربرد دانش علمی یا دانش‌ها دیگر برای نقش‌های عملی از طریق نهادها و نظام‌های هدفمندی است که با انسان‌ها و نهادها و ماشین‌ها در ارتباط است. این تعریف که بسیاری آن را می‌پذیرند گاهی رویکرد نهادهای تکنولوژیک به تکنولوژی لقب می‌گیرد. نهاد تکنولوژیک مجموعه‌ای است از سخت‌افزار، دانش، مخترعان، اپراتورها و افراد تعمیرکار، مشتریان، بازارها، آگهی‌دهنده‌ها و نمایندگان دولتی که همه در امر تکنولوژی دخالت دارند (گلن، ۱۳۸۸).

۴-۲- نظریه پردازان تکنولوژی

مارتین هایدگر در مقاله «پرسش از تکنولوژی» تکنولوژی را فراتر از مفهوم ابزاری آن می‌داند و اعتقاد دارد که تکنولوژی جدید، تقدیر عصر ماست. پیشینه مطالعات در زمینه فناوری نیز مبین آن است که فناوری یک سامانه اجتماعی است که بخش جدانشدنی از جامعه معاصر به شمار می‌رود. فناوری موضوعی است که سه کیفیت را شامل می‌شود: دانش بشری، الگوهای فعالیت‌های انسانی و مجموعه‌هایی از موضوعات کالبدی. این تعریف برای آزمون تکنولوژی، به مثابه فرایند ساختارهای اجتماعی کاربردی است (مور، ۲۰۰۷). آن تعریف از فناوری که امروزه در سراسر دنیا به یک صورت مورد قبول و درک قرار گرفته وجه ابزار گونگی آن است. فناوری به مثابه ابزار، به تنوع فرهنگ‌ها بی‌اعتناست و این انسان‌ها هستند که باید شرایط زندگی و اصول رفتاری خویش را با آن تطبیق دهند. با این شرایط به ناچار تفاوت‌ها از بین می‌روند. در حالی که معماری در ارتباط با بستر فرهنگی، تکنولوژی را به عنوان یک ساختار اجتماعی می‌داند که در فرایند اجتماعی و فرهنگی تکنولوژی و مظاهر آن نقش به سزایی بر عهده دارند. در طول تاریخ، فناوری چه در سطح ابزار و چه در سطح یک ساختار اجتماعی از جایی به جای دیگر انتقال می‌یافت. این انتقال، همراه با تطبیق ماهیت تکنولوژی با ویژگی‌های فرهنگی بستر واردکننده بود. در فرایند تغییرات اجتماعی و فرهنگی جوامع مختلف، تکنولوژی با تکیه بر ویژگی ابزار گونگی خود، تغییر و تحول و به روز شدن را به بهترین شیوه نمایش می‌دهد. ایجاد فرم‌های جدید در معماری عمدتاً به واسطه پیشرفت تکنیک‌های بهره‌گیری از مواد و مصالح است (میرمیران، ۱۳۷۴). امروزه در اغلب پروژه‌های معماری بحث استفاده از فناوری به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل مطرح است. (جدول شماره ۲).

جدول ۲- دیدگاه صاحب‌نظران و منتقدین نسبت به مقوله تکنولوژی

نظریه پرداز	نوع دیدگاه	مفاهیم کلیدی	شرح دیدگاه
برنشتاین	ابزار گونگی	خنثی بودن فناوری	ما گرایش داریم که فناوری را امری ذاتاً خنثی بدانیم، همه چیز وابسته به این است که چگونه فناوری را به کار بندیم. همه چیز در گرو آن است که چگونه فناوری‌هایی را که در دسترس است آزادانه به کار بندیم. گمان می‌رود که باید فناوری ابزاری خنثی یا وسیله ایی برای دستیابی به اهداف انسانی باشد.
دون آیدی	نگاه ماهیت‌گرا	در نظر گرفتن ماهیت برای تکنولوژی	فناوری نوع جدیدی از نظام فرهنگی را تأسیس می‌کند و جهان‌بینی اجتماعی کامل را به مثابه شیء کنترل شده بازسازی می‌کند. در این نگاه به فناوری به مثابه ابزاری خنثی نگاه نمی‌شود، بلکه برای فناوری ماهیتی در نظر گرفته می‌شود که متفاوت از خود فناوری می‌باشد. شکل پدیدار شناختی این نگاه به این صورت است که امر درست ذاتاً حقیقی نیست، بلکه محدود و نارسا است و می‌توان آن را حقیقتی جزئی تلقی کرد.
تامس کون	نگاه ماهیت‌گرا	ماهیت برای تکنولوژی	فناوری امری خنثی نیست، اما از همه برتر این خواهد بود که فناوری را به عنوان امری خنثی تلقی کنیم، چون در آن صورت برده آن خواهیم شد؛ زیرا چنین تصویری از فناوری که امروزه به ویژه مورد ستایش است، چشم ما را به کلی به ماهیت آن می‌بندد.
نیل پستمن	نگاه انتقادی	تسلیم فرهنگ به تکنولوژی	در جوامع تکنوپولی؛ تکنوپولی فرهنگی است با اوضاع و شرایط خاص و دارای شاخصه‌ها و خصلت‌های ویژه خود، وجه بارز این فرهنگ، قرار دادن فناوری به جای خالق است. این امر بدان معنی است که در اینجا فرهنگ، اعتبار و تشخص خود را در فناوری جستجو می‌کند.

(مآخذ: لفافچی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۵۶؛ برگرفته از برنشتاین، ۱۳۸۶؛ دون آیدی، ۱۳۷۷؛ یستمن، ۱۳۷۵)

۴-۳-تعریف انرژی

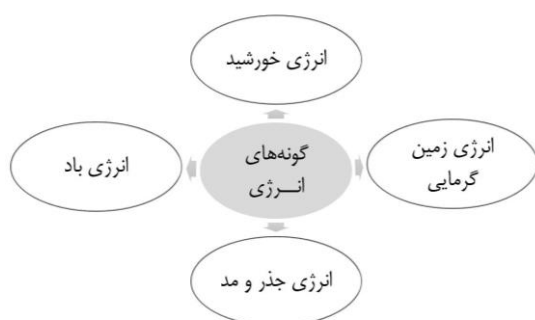
انرژی کالایی گران‌بهاست که در صورت استفاده درست و منطقی از آن می‌تواند در هر کشوری باعث پیشرفت در فن‌آوری، تکنولوژی و رفاه مردم آن جامعه گردد و در غیر این صورت ضررها و رکود جبران‌ناپذیر اقتصادی را موجب خواهد شد و درنهایت میزان مصرف انرژی به ازای تولید ناخالص داخلی روز به‌روز افزایش خواهد یافت (میربخت، ۱۳۹۵: ۵۴).

۴-۳-۱-انرژی‌های تجدید پذیر

۱-انرژی خورشید: انرژی خورشید منحصر به فردترین منبع انرژی تجدید پذیر در جهان است و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین می‌باشد. استفاده از انرژی خورشید می‌تواند از طریق ذخیره‌ی انرژی به‌صورت حرارت در مصالح، آب، گلخانه‌ها صورت بگیرد و حرارت مستقیماً توسط کلکتورهای خورشیدی ایجاد گردد، همچنین از انرژی خورشید در تولید برق شهرها و کارخانه‌ها نیز استفاده می‌گردد. در معماری جدید هدف استفاده از انرژی خورشید در معماری بر مبنای استفاده از انرژی غیرفعال خورشید به‌منظور گرم کردن فضاهای داخلی و روشنایی می‌باشد و معماران از سازه‌های ساختمان برای جمع‌آوری حرارت خورشید و ذخیره‌سازی و توزیع آن استفاده می‌نمایند (میربخت، ۱۳۹۵: ۵۴).

۲-انرژی باد: در گذشته از انرژی باد برای آسیاب‌های بادی استفاده می‌شد. هم‌اکنون از انرژی باد جهت چرخاندن توربین‌های برق و تولید برق استفاده می‌شود. یاد یک منبع انرژی بسیار گسترده می‌باشد و به عبارتی باد یک پدیده‌ی طبیعی است که از جابجایی توده‌های هوا که به‌وسیله‌ی اختلاف پتانسیل گرمایش خورشید از سطح زمین به وجود می‌آید شکل می‌گیرد. در معماری از این فرآیند برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در تابستان جهت خنک نمودن ساختمان استفاده می‌شود.

۳-انرژی جذر و مد: در این روش در محیط‌هایی که از سه جانب به خشکی راه دارد ضلع چهارم توسط سدی که دارای توربین‌های زیادی است بسته می‌شود و در هنگام جزر یا مد که آب به سمت دیگر می‌رود توربین‌ها چرخیده و برق تولید می‌کنند (میربخت، ۱۳۹۵: ۵۵).



شکل ۱- انواع گونه‌های انرژی

(ماخذ: نگارندگان برگرفته از میربخت، ۱۳۹۵: ۵۴-۵۵)

۴-انرژی زمین گرمایی: انرژی زمین گرمایی یا

ژئوترمال انرژی از منشأ درونی زمین می‌باشد. این انرژی به‌صورت محسوس از بخش درونی زمین منشأ می‌گیرد این انرژی در سنگ‌ها و آب‌های موجود در شکاف‌ها و منافذ داخل سنگ‌ها در پوسته‌ی زمین وجود دارد. دلیل اصلی وجود این گرما در پوسته‌ی زمین تجزیه‌ی مواد رادیواکتیو موجود در سنگ‌ها می‌باشد. به عبارتی مرکز زمین در اثر تبدیل مواد سنگین مثل آهن و نیکل به مواد سبک‌تر مثل پتاسیم که حرارت زیادی دارد. در نتیجه در اثر حفر چاه‌ها و تونل‌هایی به عمق دویست متر می‌توان به این حرارت دست‌یافت (میربخت، ۱۳۹۵: ۵۵) (شکل ۱)

۴-۳-۲-انرژی در ساختمان‌های آینده

در دنیای پیشرفته‌ی امروز صنعت ساختمان، سرمایه‌گذاری کلان، درازمدتی بوده و می‌بایست این صنعت را با کمک تکنولوژی و فناوری‌های روز جهان از کهنگی دورنگه داشت. از آنجاکه ساختمان‌ها سرمایه‌های عظیم و بلندمدتی را به خود اختصاص می‌دهند باید به‌موازات رشد تجارت و سرمایه‌گذاری نو شوند. در عین حال، هزینه‌ی یک ساختمان تنها هزینه‌ی طراحی و ساخت نبوده بلکه هزینه‌ی نگهداری و استفاده از آن را نیز شامل می‌شود. امروزه بسیاری از ساختمان‌ها با کاربردهای مختلف برای اهداف عملکردی خود کارکرد درستی ندارند تا بتوانند بیشترین بازدهی ممکن را برای استفاده‌کنندگان آن فراهم سازند. این ساختمان‌ها فاقد امکانات لازم برای مدیریت انرژی می‌باشند و نمی‌توانند پاسخ‌گوی تحولات محیط، نیازهای جدید باشند. امروزه از فناوری‌های مختلف به‌منظور ایجاد آسایش و امنیت بیشتر و صرفه‌جویی در هزینه‌ها به‌خصوص در مصرف منابع انرژی بهره می‌برند. به‌طور مثال در فناوری اطلاعات با توسعه‌ی سیستم‌هایی که بتوانند تغییرات و شرایط محیطی داخل ساختمان را اندازه‌گیری کرده و تخمین بزنند و سپس در مقابل آن بتوانند واکنش نشان دهد توانسته‌اند تا مصارف انرژی را تحت کنترل قرار دهند (فیضی و اسماعیل دخت، ۱۳۹۳: ۱۷۹).

۴-۳-۳- اهمیت استفاده از انرژی تجدید پذیر و فناوری آن‌ها برای توسعه پایدار

کاربرد منابع و فناوری‌های انرژی‌های تجدید پذیر یکی از اصول کلیدی در توسعه پایدار است. این منابع در مقایسه با سایر منابع انرژی تأثیرات محیطی بسیار کمتری دارند. در عمل موارد زیادی برای انتخاب وجود دارد که به کار گرفتن انرژی تجدید پذیر و به خصوص انرژی خورشیدی یک سیستم انرژی بسیار پاک‌تر را در اختیار قرار می‌دهد که می‌تواند تا حد بسیار زیادی جایگزین سیستم‌های فعلی انرژی گردد. منابع انرژی تجدید پذیر همانند انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی محدودیت نداشته و به اتمام نمی‌رسند و اگر عاقلانه و به‌طور صحیح به کار گرفته شوند، منابع انرژی پایدار و بی‌ضرری خواهند بود در عوض منابع سوخت‌های فسیلی و اورانیوم محدود بوده و با استخراج و مصرف به پایان می‌رسند. جهت دستیابی به برنامه‌های انرژی پایدار و سازگار با محیط‌زیست، منابع انرژی تجدید پذیر را باید در هر مرحله‌ای ارتقا بخشید که این امر مبنایی برای مقررات کوتاه‌مدت و بلندمدت خواهد بود. پایداری محیطی به معنای حفظ سرمایه‌های طبیعی است که ایجاب می‌کند ما انسان‌ها در مصرف مواد تجدیدشونده و در مصرف آب و منابع انرژی حد و اندازه را رعایت کرده و بیشتر از آنچه سیستم‌های طبیعی می‌تواند فراهم کند مصرف نکنیم. به یاد داشته باشیم که نسبت مصرف ما از منابع یک‌بارمصرف نباید بیشتر از نسبتی باشد که منابع پایدار تجدیدشونده نتواند آن را جبران کند. بهترین مثال در این مورد نفت و سوخت فسیلی است که پس از اتمام شدن، تجدید نمی‌شوند. مدیریت انرژی‌های تجدید پذیر علاوه بر کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی، منجر به تولید انرژی فراوانی می‌شود که هم‌اکنون در آمریکا و کشورهای اروپایی از منابع زیست‌توده جهت تولید انرژی در سطح نیروگاهی استفاده می‌شود (قبادیان، ۱۳۹۳: ۱۱۲).

۴-۳-۴- نانو تکنولوژی در ساختمان

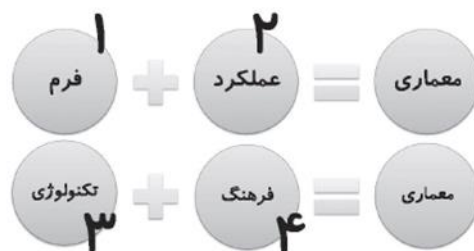
معماران سعی می‌کنند با به کارگیری فناوری‌های نوین و ایجاد محیطی سالم‌تر، میزان بازدهی را بالا برده و امنیت ساختمان را افزایش داده و از هدر رفتن انرژی جلوگیری نمایند. با وجود مشکلات موجود در حوضه‌ی شهرسازی و معماری (افزایش هزینه‌های ساخت‌وساز، آلوده شدن شهرها و ...) و تأثیرگذاری مستقیم آن در ساختمان‌ها، لزوم توجه هرچه بیشتر به فناوری‌های جدید و نقش آن‌ها در بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان الزامی است. نانو تکنولوژی نویدبخش پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه‌ی تبدیل و ذخیره‌ی انرژی خورشید، مبدل‌های ترموالکتریک، باتری‌ها، بیل‌های سوختی بسیار کارآمد می‌باشد. کنترل نانو ساختارها و ترکیب و ساخت مواد جدید برای دستیابی به شیوه‌های مدرن مورد استفاده در ساختمان، امیدهای بسیاری را برای مدیریت انرژی در ساختمان بخصوص برای ساختمان‌ها و شهرهای آینده نوید می‌دهد. فعالیت‌های نانو تکنولوژی در سطح دنیا به شدت در حال گسترش است و نانو تکنولوژی دارای جنبه‌های بسیار مهم فرا رشته‌ای شده است که هماهنگی آن‌ها بدون وجود یک برنامه استراتژیک دشوار است. امروزه امکان تهیه‌ی مصالح ساختمانی مناسب به‌منظور کنترل انرژی در ساختمان توسط این فناوری امکان پذیر شده است (فیضی و اسماعیل دخت، ۱۳۹۷: ۱۸۴).

۴-۴- معماری و تکنولوژی

تکنولوژی و معماری را می‌توان از چهار بخش اصلی متشکل دانست؛ «الف- فرم، ب- عملکرد، ج- تکنولوژی، د فرهنگ و محتوا».

- «فرم» عبارت از هندسه و شکل اثر می‌باشد.
- «عملکرد»، شامل کاربری‌ها و بهره‌گیری‌ها در فضای معماری است.
- «تکنولوژی» شامل فرآیند ساخت، تفکر پیرامون نحوه ساخت و مصالح، تکنیک‌ها و سیستم‌های ساختمانی می‌باشد.
- «فرهنگ و محتوا» نیز درون‌مایه غیر فیزیکی شامل مفاهیم و معانی مطرح‌شده در اجزا و کل اثر می‌باشد که از فرهنگ، تاریخ، اعتقادات و مبانی فلسفی جامعه و معمار نشاءت می‌گیرد (گلابچی و شاهرودی، ۱۳۸۹).

بنابراین یکی از اصلی‌ترین عناصر برپاکننده هر اثر معماری، «تکنولوژی» است. معماری در گذشته و حال از دو گونه تکنولوژی بهره جسته است، تکنولوژی سنتی و تکنولوژی مدرن، تکنولوژی‌های سنتی به‌ندرت تدوین شده‌اند ولی تکنولوژی‌های مدرن همیشه مدرن بوده‌اند. روش‌ها در تکنولوژی‌های سنتی می‌توانند تشریح شوند، اما فرموله نیستند به‌مانند اصولی که برای نیازهای متعدد و بسیاری به کار گرفته می‌شدند. اما تئوری‌های اساسی تکنولوژی‌های مدرن وابسته به نیازهایشان هستند. اما علاوه بر تفاوت‌های مذکور، نحوه به‌کارگیری و دخالت تکنولوژی‌های سنتی و مدرن در معماری نیز دگرگون شده و تکنولوژی مدرن زمینه‌ساز تغییراتی در کالبد و مصرف انرژی‌های ساختمان و بهینه‌سازی مصرف هزینه‌های معماری گردیده است (گلابچی و شاهرودی، مقدمه‌ای بر تکنولوژی معماری، ۱۳۸۹). تکنولوژی در فرهنگ لغات، ابزاری تکنیکی برای رسیدن به اهداف عملی است. تعاریف جدیدتر از تکنولوژی به این امر اشاره می‌کند که نباید تکنولوژی را محدود کرد و آن را با ابزار و ماشین یکی دانست (وودوارد، ۱۳۸۹، ص ۱۲۵). (شکل ۲)



شکل ۲- رابطه تکنولوژی و معماری ماخذ: (فیضی و اسماعیل دخت، ۱۳۹۳)

۴-۵- خانه‌های هوشمند (HEMS)^۱

یک سیستم هوشمند به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف برق و تقاضای آن، با کنترل لوازم‌خانگی هوشمند، منابع انرژی تجدیدپذیر و مانیتورینگ اطلاعات در زمان واقعی امکان مدیریت بر مصرف انرژی را فراهم می‌کند. دو نوع کنترل در این سیستم‌ها وجود دارد: کنترل مستقیم و کنترل از راه دور.

سیستم کنترل مستقیم بر روی تجهیزات و سیستم در محل اجرا می‌شود؛ درحالی‌که کنترل از راه دور به این معنی است که می‌توان به‌صورت آنلاین به این سیستم‌ها دسترسی داشته تا کنترل و استفاده از دستگاه‌های خانگی از طریق کامپیوتر شخصی یا تلفن هوشمند انجام شود. علاوه بر این، خدمات کنترل فعال، ازجمله اطلاعات در زمان واقعی در مورد میزان مصرف انرژی و قیمت انرژی در خانه‌های هوشمند، می‌تواند به مصرف‌کنندگان ارائه شود. مصرف‌کنندگان خانگی می‌توانند تنظیمات لازم را از طریق رابط کاربری برای افزایش بهره‌وری انرژی خود انتخاب کنند. زیرساخت‌های سیستم مدیریت انرژی خانگی و زیرساخت داخلی خانه هوشمند شامل مرکز هوشمند سنجش مصرف، سیستم ارتباطی و شبکه و سایر دستگاه‌های هوشمند است. با استفاده از این زیرساخت‌ها می‌توان دسترسی، نظارت، کنترل و بهینه‌سازی عملکرد لوازم‌خانگی و تجهیزات را ایجاد نمود. علاوه بر این، با ادغام کامل دستگاه‌های هوشمند و خانه‌های هوشمند و همچنین تعامل دوطرفه با کاربران بسیاری از ویژگی‌های جذاب شبکه‌های هوشمند مانند بهره‌وری و کاهش هزینه، قابلیت اطمینان، ارائه خدمات متمایز و تکنولوژی قدرتمند هوشمند پیشرفته کاربر نیز می‌تواند اجرا شوند (میزانی، ۱۳۹۷: ۱۸).

۴-۵-۱- خانه‌های هوشمند تحت سیستم ارتباطی و شبکه

تاکنون، سیستم‌های مختلف بر اساس طرح‌های ارتباطی مختلف با اجرای سخت‌افزار طراحی شده‌اند از قبیل ارتباط از طریق خطوط برق و موارد مشابه تحقیقات گسترده در ارتباطات و فناوری‌های شبکه انجام شده است. بر اساس نتایج این تحقیقات، ترکیبی از یک ارتباط هوشمند و ارتباطات برق می‌تواند دسترسی از راه دور را فراهم کند، برنامه‌ریزی را تسهیل و مصرف انرژی خانگی را بهینه کند. با استفاده از شبکه‌های مبتنی بر حسگرهای فعال، یک سیستم مدیریت هوشمند می‌تواند اطلاعات سیستم‌های متنوع سنجش و کنترل دستگاه‌های خانگی مختلف را ادغام کند.

سیستم‌های سنجش هوشمند راهکار پیشرفته‌ای است که مصرف انرژی مصرف‌کننده را اندازه‌گیری می‌کند و اطلاعات اضافی را در مورد خدمات برق با استفاده از یک طرح ارتباطی دوطرفه ارائه می‌دهد. در نتیجه مشتریان می‌توانند تصمیمات بهینه‌ای را برای برنامه‌ریزی مصرف برق لوازم‌خانگی داشته باشند. لوازم‌خانگی و دستگاه‌های ذخیره انرژی مختلف می‌توانند به‌طور کامل بر اساس ویژگی‌های دستگاه و اولویت‌بندی کاربردها، آنالیز و مدل‌سازی شوند (میزانی، ۱۳۹۷: ۱۹).

۴-۵-۲- تجارب استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در خانه‌های هوشمند

از دهه ۱۹۹۰ استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌صورت سالیانه افزایش یافته است. علاوه بر این، انرژی‌های تجدیدپذیر در زمینه‌های مختلف ازجمله بخش‌های صنعتی، مسکونی، تجاری و دولتی مصرف شده است. در سال ۲۰۱۲، میزان انرژی مصرفی با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در مراکز مسکونی، تجاری و عمومی رقم قابل توجهی بوده است. از جنبه‌های فنی و اقتصادی، جایگزین سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر برای تأمین برق خانگی کاملاً امکان‌پذیر است.

با توجه به توسعه سریع منابع انرژی تجدیدپذیر در ۱۵ سال گذشته، آلمان یک پیشگام در برق تجدیدپذیر است. در سال ۱۹۹۸، آلمان شروع به اجرای طرحی به‌عنوان "طرح سقف" باهدف به دست آوردن انرژی خورشیدی به میزان ۳۰۰ مگاوات از سقف شهروندان کرد. در حال حاضر بسیاری از خانواده‌های آلمانی با استفاده از یک سیستم انرژی خورشیدی در شبکه تولید برق

حضور دارند. ساکنان برق خورشیدی تولیدی با تجهیزات موجود در روی پشت‌بام را در روز باقیمت بالا به شبکه برق عرضه می‌کنند، و در شب باقیمت مناسب بازخريد می‌کنند. بنابراین، ساکنان خانه‌های مسکونی هم تولیدکننده انرژی و هم مصرف‌کنندگان می‌شوند. به لطف نصب آسان و هزینه کم، این سیستم‌ها به‌طور گسترده‌ای در خانه‌های هوشمند استفاده می‌شود. کشور قبرس، که به‌عنوان یک کشور پیشرو در به‌کارگیری آبگرمکن خورشیدی در جهان شناخته می‌شود، کشوری است که ۹۲ درصد خانواده‌ها و ۵۳ درصد هتل‌ها از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی استفاده می‌کنند (قربانی، ۱۳۹۱: ۷).

در مورد استفاده از باد برای تولید انرژی الکتریکی، در سال ۲۰۱۳، یک‌سوم برق دانمارک توسط باد تولید می‌شود و بیش از ۸۳ کشور جهان از انرژی باد برای تولید برق استفاده می‌کنند. استفاده از انرژی باد در خانه‌های هوشمند از پتانسیل بسیار بالایی برخوردار است.

استفاده از فناوری تولید انرژی از احتراق زیست‌توده در خانه‌های هوشمند به‌عنوان یک منبع قابل‌دسترس قابل‌پیش‌بینی است. از دهه ۱۹۹۰، دانمارک، اتریش و سایر کشورهای اروپایی، توسعه و تحقیقاتی در زمینه فناوری تولید انرژی زیست‌توده را آغاز کرده‌اند. در حال حاضر تولید برق زیست‌توده در خانوارها در سراسر دانمارک مورد استفاده قرار گرفته است. تولید برق از این منابع انرژی تجدیدپذیر، بیش از ۲۴ درصد از مصرف انرژی ملی را به خود اختصاص داده است. ظرفیت تولید برق زیست‌توده در ایالات متحده به ۱۰۵ میلیون کیلووات رسیده است، به همین ترتیب، استفاده از زیست‌توده در کشور چین به‌طور قابل‌توجهی توسعه یافته است (لوفچی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۵۹).

برای انرژی ژئوترمال، که به‌عنوان گرما از منابع زیرزمینی تعریف شده است، آتش‌فشان‌ها منابع انرژی تجدیدپذیر ایده آلی هستند. استفاده از انرژی ژئوترمال، در سال‌های اخیر در جهان پیشرفت‌های زیادی داشته است. به‌عنوان مثال در کشور ایسلند از انرژی با منشأ ژئوترمال برای تولید برق پایدار و کم‌هزینه استفاده می‌شود. ۸۷ درصد از خانه‌های هوشمند در ایسلند توسط انرژی زمین‌گرمایی گرم می‌شوند. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در شرایط محیطی جهان، افزایش نیاز به تقاضای انرژی و توسعه فناوری‌های جایگزین انرژی، فرصت زیادی برای توسعه منابع مختلف پایدار فراهم آورده است. منابع انرژی‌های تجدیدپذیر شامل ساختمان‌های خورشیدی، باد، زیست‌توده، انرژی زمین‌گرمایی در خانه‌های هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه انرژی خورشیدی، غنی‌ترین منبع انرژی پذیر و پاک در بین انواع منابع انرژی تجدیدپذیر است. انرژی خورشیدی می‌تواند در جنبه‌های مختلف از جمله آبگرمکن خورشیدی استفاده شود. با توجه به نصب آسان و کم‌هزینه، به‌طور گسترده‌ای در خانوارها مورد استفاده قرار گیرد. آب گرم که توسط انرژی خورشیدی گرم می‌شود می‌تواند برای پخت‌وپز و شستشو استفاده شود (لوفچی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۶۴).

انرژی باد یک انرژی جایگزین مهم است و کاربرد آن در خانه‌های هوشمند همیشه موضوع قابل‌بحثی بوده است. دستگاه مورد نیاز تولید انرژی باد، ژنراتور توربین بادی نامیده می‌شود که عموماً شامل فن، ژنراتور، دنده فرمان، برج، مکانیزم کنترل و دستگاه ذخیره‌سازی انرژی می‌باشد. در خانه‌های هوشمند، ساختمان مانع حرکت خطی هوا می‌شود، به‌طوری‌که هوا به سمت بالا حرکت کرده و باعث ایجاد اختلاف فشار در اطراف فن می‌شود که ژنراتور را چرخانده و انرژی تولید می‌کند. معمولاً انرژی الکتریکی تولیدشده به‌طور کلی برای تجهیزات نورپردازی خانه، تجهیزات ارتباطی و ابزارهای الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نوسان متناوب باد، توجه به سیستم قابل تنظیم و ظرفیت ذخیره‌سازی از اهمیت زیادی برخوردار است. در حال حاضر تولید برق زیست‌توده‌ای که در خانه‌های هوشمند استفاده می‌شود شامل تولید مستقیم انرژی از سوخت‌های زیست‌توده و تولید بیوگاز از زیست‌توده و سپس تولید برق می‌شود.

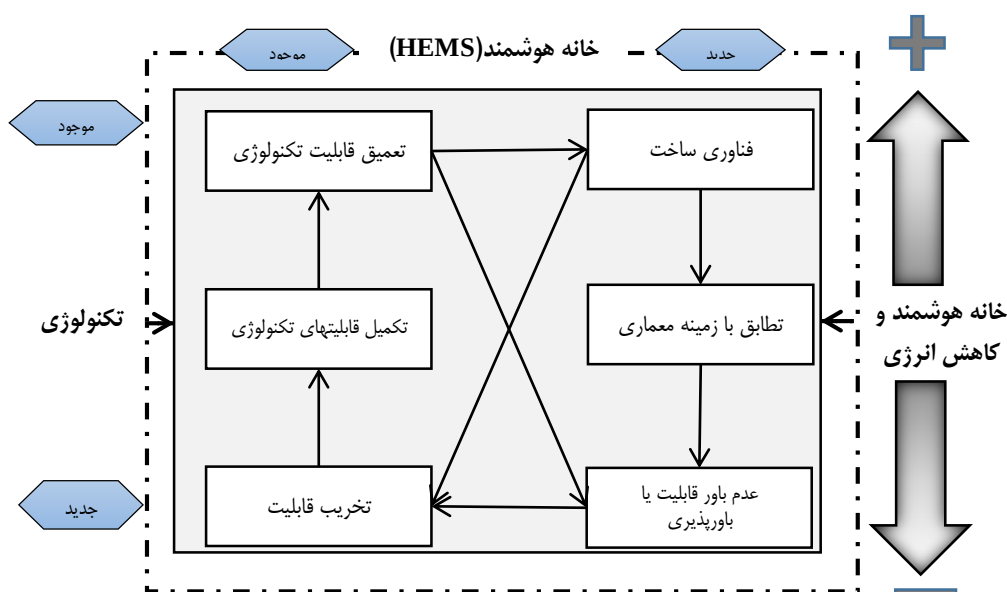
تاکنون، استفاده اصلی از انرژی ژئوترمال کم‌عمق، تهویه مطبوع مورد استفاده در خانه‌های مسکونی است و تکنیک‌های پمپ حرارتی برای پمپ کردن و استفاده از منابع گرمای کم‌دما زیرزمینی استفاده می‌شود. پمپ حرارتی منبع زمین یک فناوری تهویه مطبوع با صرفه‌جویی در مصرف انرژی است که از منابع زمین‌گرمایی کم برای تأمین حرارت استفاده می‌کند. کشف و توسعه منابع زمین‌گرمایی یک صنعت در حال ظهور با سرمایه‌گذاری بالا و ریسک بالا با توجه به محدودیت‌های توزیع انرژی ژئوترمال است. فناوری‌های تبدیل انرژی بر توسعه و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بهبود کیفیت انرژی، بهره‌وری انرژی و رفع پیک و استراتژی‌های کنترل تأثیر عمده‌ای دارد. با استفاده گسترده از نسل‌های تجدیدپذیر و دستگاه‌های ذخیره‌سازی انرژی در ساختمان‌های مسکونی، لازم است طراحی و اندازه‌گیری بهینه برای مبدل‌های قدرت الکتریکی صورت گیرد. همچنین با استفاده از سیستم‌های الکترونیکی بسیار پیشرفته در نسل‌های نوظهور، مدیریت انرژی و تبدیل، رابط کاربری و کنترل پیشرفته می‌تواند راه را برای برنامه‌های کاربردی انرژی‌های تجدیدپذیر در خانه‌های هوشمند هموار کند. افزایش سطح نفوذ سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر منجر به افزایش تقاضای خانوارها و افزایش سطح انتظارات آن‌ها از سیستم‌های تأمین انرژی بر این مبنا می‌شود. این موارد می‌تواند شامل موضوعاتی مانند: (۱) وجود منبع برق قابل‌اعتماد / امن، (۲) کارایی بالا، کم‌هزینه، حجم کم و با حفاظت مؤثر، (۳) سیستم‌های کنترل قدرت فعال و واکنشی باشد (میزانی، ۱۳۹۷: ۲۱).

ارتباطات و فناوری اطلاعات در سیستم مدیریت هوشمند انرژی برای اجرای برنامه‌های بهینه‌سازی لوازم‌خانگی و استراتژی‌های مدیریت انرژی مورد نیاز است. در خانه هوشمند، مرکز کنترل هوشمند با دستگاه‌های اندازه‌گیری می‌تواند اطلاعات را جمع‌آوری و با ارائه سیگنال‌های لازم، کنترل را برای بهینه‌سازی مصرف برق و برنامه تولید فراهم کند.

۴-۵-۳- تعامل تکنولوژی و کاهش مصرف انرژی ساختمان

با به کارگیری سیستم‌های هوشمند برنامه‌ریزی لوازم‌خانگی، می‌توان انتظار کنترل قیمت‌های برق و کاهش آن را داشت. در سال‌های اخیر، ابزارهای مختلفی برای تصمیم‌گیری برای بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی لوازم‌خانگی برای مصرف‌کنندگان مسکونی در خانه‌های هوشمند گزارش شده است. استراتژی‌های زمان‌بندی مصرف انرژی خودکار با پیش‌بینی قیمت‌ها پیشنهاد مناسبی برای کاهش و به حداقل رساندن هزینه برق می‌باشد. یک کنترل‌کننده مدیریت انرژی بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از تقاضای مصرف برق، باعث خواهد شد تمام وسایل خانگی در خانه‌های هوشمند به‌صورت خودکار با هزینه‌ای مؤثر کار کنند (ناجی، ۱۳۹۲: ۴۳؛ فیضی و اسماعیل دخت، ۱۳۹۳: ۱۹۰). ظهور شبکه‌های هوشمند و نگرانی‌های روزافزون در مورد صرفه‌جویی در مصرف برق فرصت‌هایی برای کاربرد سیستم‌های هوشمند در بازارهای پاسخگویی به تقاضا ایجاد نموده است. ابزارها و دستگاه‌های کنترلی به‌عنوان یک ابزار مهم پاسخ‌دهی تقاضا، جهت تغییر و محدود کردن لوازم‌خانگی به‌منظور بهبود کارایی انرژی و تولید یک خانواده از طرف مصرف‌کننده است.

سیستم‌های هوشمند معمولاً برنامه‌های مصرف و تولید مطلوب را با در نظر گرفتن اهداف متعدد مانند هزینه‌های انرژی، نگرانی‌های محیطی، وضعیت اوج مصرف و راحتی مصرف‌کننده تعریف می‌کند. به‌طور کلی، هدف اصلی طرح‌های کنترلی برای لوازم‌خانگی در سیستم‌های هوشمند به حداقل رساندن مصرف انرژی می‌باشد. علاوه بر این، تکنیک‌های هوش مصنوعی مختلفی برای کنترل ساختمان‌های مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۳- رابطه پذیرش قابلیت‌های تکنولوژی و هوشمند سازی ساختمان با کاهش انرژی (مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹)

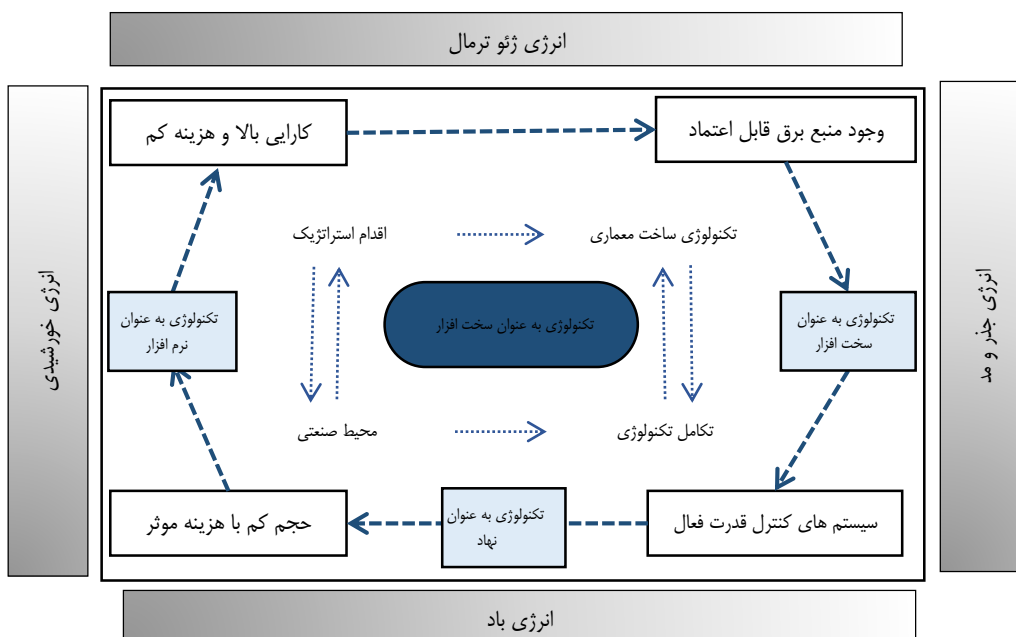
کنترل‌کننده‌های هوشمند که به‌وسیله استفاده از الگوریتم‌های تکاملی بهینه‌سازی شده‌اند برای کنترل زیرسیستم‌های ساختمان هوشمند و لوازم‌خانگی ساخته شده‌اند. هم‌افزایی شبکه عصبی با منطق فازی و الگوریتم‌های مختلف تکاملی منجر به هوش مصنوعی شده است که در حال حاضر در خانه‌های هوشمند کاربرد دارد. علاوه بر این، ملاحظات مدل‌سازی دقیق برای سیستم‌های هوشمند، از جمله مدل‌سازی پاسخ تقاضای تجهیز، مدل‌سازی رفا، مدل‌سازی برای عدم اطمینان در این سیستم‌ها قابل مشاهده است (میزانی، ۱۳۹۷: ۱۷؛ لفافچی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۵۶؛ گلن، ۱۳۸۸).

از آنجاکه هر تجهیز مصرف‌کننده انرژی دارای ویژگی‌های منحصر به فرد است، ممکن است ایجاد یک مدل که نشان‌دهنده وضعیت هر تجهیز باشد از جمله مشکلات برای ایجاد سیستم هوشمند است. فراتر از زیرساخت‌ها و چالش‌های ارتباطی در ارتباط با پویاسازی ابزارهای جدید، مدل‌سازی و کنترل بسیاری از لوازم‌خانگی می‌تواند یک مانع آشکار برای استقرار و بهینه‌سازی سیستم‌های کنترل هوشمند باشد. تجزیه و تحلیل سطح رفا، مربوط به شیوه زندگی مصرف‌کنندگان مسکونی، به‌عنوان یک هدف مهم برای حفظ مدیریت مصرف انرژی در نظر گرفته شده است. از دست دادن کیفیت خدمات ناشی از تحویل انرژی می‌تواند ناراحتی مصرف‌کننده را ایجاد کند. مدل‌های کنترل و پیش‌بینی مصرف، رایج‌ترین روش برای رسیدگی به خطاهای پیش‌بینی شده است و یک سیستم کنترل آنلاین با حلقه باز است که با کاهش تأثیرات خواص دینامیکی ناخواسته سیستم، تقریباً یک‌راه حل مطلوب را در برمی‌گیرد. الزامات مدل‌سازی سیستم کنترل هوشمند وابسته به زیرساخت‌های ارتباطاتی است. در صورتی که اطلاعات

به دست آمده از شبکه انتقال انرژی ناکافی باشد، سیستم‌های کنترل هوشمند خانگی فقط با وسایل موجود در خانه ارتباط برقرار می‌کند و به صورت منفرد اطلاعات از شبکه را از طریق اینترنت یا از طریق سیگنال‌های بی‌سیم دریافت می‌کند. در نهایت، هنگامی که ارتباط دوطرفه فعال وجود داشته باشد اطلاعات به طور مرتب، ایمن و با یک پروتکل ارتباطی مؤثر ارسال می‌شود (ناجی، ۱۳۹۲: ۴۵؛ فیضی و اسماعیل دخت، ۱۳۹۳: ۱۹۳) (شکل ۳).

۵- جمع بندی

پیشرفت‌های اخیر تجاری در ذخیره‌سازی انرژی‌های بزرگ و تکنولوژی‌های الکترونیکی قدرت، فرصت‌های جدیدی را در ایجاد ثبات نسبی متناوب، مدیریت مطلوب، بهبود کیفیت برق و اصلاح بار پیک فراهم می‌کنند. در حال حاضر، باتری‌های اسید سرب، باتری‌های جریانی، فوق خازن و ذخیره انرژی شیمیایی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برق تولید شده توسط انرژی خورشیدی و باد همواره ثابت و فرار است و تعادل بین عرضه و تقاضای انرژی در هر زمان در سیستم‌های انرژی خانوار مورد نیاز است. در نتیجه، طرح‌های هماهنگ شارژ تخلیه می‌تواند به طور مؤثر تنوع و انعطاف پذیری نسل‌های انرژی تجدیدپذیر و حفظ منبع برق پایدار و قابل اعتماد را متعادل نماید. علاوه بر این، در خانه‌های هوشمند، نصب پنل خورشیدی، انرژی باد و سایر منابع انرژی، منبع اصلی در طول دوره‌های پیک‌بار هستند و دستگاه‌های ذخیره‌سازی انرژی امکان تعامل سیستم انرژی خانوارها و تأسیسات برق را فراهم می‌کنند. از سوی دیگر، در طول دوره‌های قطع برق، این سیستم‌ها می‌توانند با نسل‌های مختلف تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گیرند تا یک تأسیسات تولید مستقل برای تأمین برق برای مصرف‌کننده‌ها در شرایط بحرانی بار مصرف ایجاد کند تا امکانی برای افزایش توان شبکه به وجود آید. به علت اینکه ذاتاً تأمین انرژی از منبع انرژی مجزا، مانند خورشید، باد و ژئوترمال فصلی، در نتیجه متغیر و دوره‌ای می‌باشد، این منابع برای ارائه یک منبع تغذیه پیوسته و اقتصادی ناکافی هستند. بنابراین، سیستم انرژی ترکیبی با افزایش تولید نسل‌های باز تولید شده می‌تواند برای کاهش اثرات متناوب و ناپایدار برق مورد استفاده قرار گیرد. در اکثر موارد، استفاده از نور خورشید تابستان با نسل‌های قدرتمند پانل‌های تبدیل انرژی خورشیدی، مقرون به صرفه است (شکل ۴).



شکل ۴- مدل نهایی تحقیق در ارتباط با کاهش انرژی ساختمان با بهره‌گیری از تکنولوژی ساخت خانه‌های هوشمند (ماخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹)

در پایان باید گفت که تکنولوژی مدرن در عرصه‌های مختلف معماری معاصر ایران، از تفکر گرفته تا فرآیند طراحی و ساخت و در نهایت در اثر نهایی حضور جدی دارد و آثار خود را در فضاها و اشکال معماری معاصر نمایان ساخته، اما از تأثیرات آن غفلت شده و بدان به مثابه ابزاری خنثی و بی‌اثر نگریسته شده و این در حالی است که اثر تفکر تکنولوژی مدرن حتی بر شیوه طراحی و تکنولوژی ساخت معماری نیز آشکار است. لذا مباحثی که پیرامون تکنولوژی و سازه مناسب در برخی از آثار، بالأخص در معماری معاصر غرب مطرح می‌گردد، دلیلی بر پذیرش مبانی نظری آن نبوده بلکه تأکیدی بر چگونگی هم‌آوایی تکنولوژی و سازه با

معماری در راستای میانی موردنظرشان می‌باشد و هدف، یافتن شیوه دست یافتن به چنین مقصودی می‌باشد. خانه‌های هوشمند می‌توانند به‌عنوان سیستم‌های عظیم در نظر گرفته شوند. این سیستم‌ها همانند شبکه عظیم اینترنت، شبکه‌های کامپیوتری را با شبکه‌های بسیار بزرگ دیگر مرتبط می‌کنند. در یک ساختمان هوشمند، اجتماع سیستم‌ها برای کاهش هزینه عملکردی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های فراوانی وجود دارد که از طریق آن‌ها در یک ساختمان هوشمند هزینه‌ها کاهش یابند، بیشتر روش‌ها بر مبنای بهینه کردن عملکرد و افزایش بهره‌وری استوار هستند:

۱. بهینه‌سازی تجهیزات سیستم تهویه مطبوع: مدل‌سازی بارهای مختلف موجود در خانه به‌صورت پویا به سیستم اجازه می‌دهد تا کمترین هزینه را برای ایجاد بیشترین آسایش صرف کند.
 ۲. تطابق الگوی سکونت با مصرف انرژی: در خانه هوشمند با کاهش تعداد افراد موجود در خانه هزینه مصرفی کاهش می‌یابد.
 ۳. نگهداری فعال تجهیزات: الگوریتم‌های آنالیزی مشکلات موجود در عملکرد را شناسایی کرده و قبل از اینکه قطعی در ساختمان رخ دهد و با حفظ بالاترین میزان بهره‌وری در نگهداری ساختمان وارد عمل می‌شود.
 ۴. مصرف برق پویا: با دریافت سیگنال‌ها از شبکه برق‌رسانی و تغییر مصرف بر اساس آن، خانه‌های هوشمند داشتن کمترین هزینه‌های برق را تضمین می‌کنند و در اغلب موارد با فروش میزان برق مصرفی به شبکه برق کسب درآمد نیز دارند.
- دسترسی اطلاعاتی به یک زیرساخت می‌تواند منجر به ایجاد ارزش‌های سازمانی شود. یک ساختمان هوشمند می‌تواند زیرساخت‌هایی را با ایجاد ارتباط اطلاعاتی در یک الگوی دسترسی باز ایجاد کند که همین زیرساخت‌ها منجر به پیشرفت تجهیزات جدید شوند. ایجاد تجهیزات جدید می‌تواند منجر به ذخیره‌سازی انرژی، زمان و هزینه‌های اجرایی گردد که دقیقه مشابه اتفاقی است که برای اطلاعات باز در شبکه اینترنت رخ داده است.

منابع

۱. اسدی محمدرضا و مهدی موسوی مهر (۱۳۸۹) ماهیت تکنولوژی در فلسفه هایدگر، نشریه حکمت و فلسفه، سال ۶، شماره اول.
۲. اعتماد، شاپور (۱۳۸۳) سخنرانی در باب مفهوم هویت در تکنولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، درج‌شده در سایت باشگاه اندیشه؛ زمان برداشت: نگارنده، ۱۳۹۳
۳. امینی، شیدا (۱۳۸۸) بحثی در نسبت تکنولوژی و هنر، روزنامه قدس، ۱۴ شهریور ۱۳۸۸
۴. آتون، فیلیپ؛ سیلبرگ لمیت، ریچارد؛ اشنایدر، جیمز (۱۳۸۰)؛ انقلاب جهانی تکنولوژی روند جهانی در بیه تکنولوژی، نانو تکنولوژی، تکنولوژی مواد و هم‌افزایی آن‌ها با تکنولوژی اطلاعات تا سال ۲۰۱۵، ترجمه وحید وحیدی مطلق، عقیل ملکی‌تر، تهران، کمیته مطالعات سیاست نانو تکنولوژی.
۵. برنشتاین، ریچارد (۱۳۸۶)، تکنولوژی و منش اخلاقی شرحی بر پرسش از تکنولوژی، مترجم: یوسف ابادری، مجله ارغنون، ۱: ۳۱-۶۸
۶. پستم، نیل (۱۳۷۵)، تکنوپولی، ترجمه صادق طباطبایی، تهران، اطلاعات.
۷. جاکوب، دیوید (۱۳۸۸) رسانه و فلسفه تکنولوژی، مترجم امین حامی خواه، درگاه اینترنتی باشگاه اندیشه.
۸. جعفری، عاطفه و دیگران (۱۳۹۲) نقش تکنولوژی‌های بومی در کیفیت فضاهای مسکونی، مسکن و محیط روستا، شماره ۱۴۱.
۹. دون، آیدی (۱۳۷۷)، فلسفه تکنولوژی، ترجمه شاپور اعتماد، نشر مرکز، تهران.
۱۰. رحمانی، بهزاد، اسماعیلی، هادی باقر (۱۳۸۹)، مجموعه مقالات سمینار بررسی سازه‌های دیوارهای جداکننده، انجمن ایرانی مهندسان محاسبه
۱۱. رهبرنیا و زهرا رهنورد (۱۳۸۵) مواجهه هنر قدسی با تکنولوژی، هنرهای زیبا، شماره ۲۶.
۱۲. شاهرودی عباسعلی، گلابچی، محمود (۱۳۸۶) مقدمه‌ای بر معماری و تکنولوژی، تهران، انتشارات دانشگاه تهران
۱۳. عبدالکریمی، بیژن (۱۳۸۷) فلسفه تکنولوژی چیست؟، روزنامه اعتماد، شماره ۱۸۵۱.
۱۴. عدل پرور، محمدرضا، بزرگمهر نیا، سعید، گرجی، علی اصغر (۱۳۹۰)، چکیده مقالات دومین همایش ملی فناوری‌های نوین صنعت ساختمان، اداره کل مسکن مشهد.
۱۵. فیضی، محسن و اسماعیل دخت، مریم (۱۳۹۳)، تبارشناسی تحلیلی تکنولوژی‌های نوین ساخت جهت هویت بخشی به بناهای معماری با رویکرد زمینه‌گرایی، فصلنامه مدیریت شهری، شماره ۳۸، بهار ۹۴، ۱۷۳-۱۹۵.
۱۶. قانع‌ی راد، محمد (۱۳۸۸) دوگانگی‌های فرهنگی تکنولوژی، نشریه تحقیقات فرهنگی، شماره ۸.

۱۷. قربانی عموقین، مریم (۱۳۹۱)، بررسی تکنولوژی نوین ساخت در معماری با استفاده از فناوری مناسب در مصالح بومی جهت کاهش هزینه‌ها، اولین کنفرانس ملی بنای ماندگار، مشهد، اسفند ۱۳۹۱.
۱۸. کاستلز، مانوئل (۱۳۸۰) عصر اطلاعات، اقتصاد، جامعه و فرهنگ، ترجمه حسن چاوشیان، تهران، انتشارات طرح نو.
۱۹. کاوه، مسعود (۱۳۹۰)، چکیده مقالات دومین همایش ملی فناوری‌های نوین صنعت ساختمان، اداره کل مسکن مشهد.
۲۰. الکساندر، کریستوفر (۱۳۸۱) معماری و راز جاودانگی، ترجمه مهرداد قومی بید هندی، با مقدمه مهدی حجت، تهران، مرکز چاپ و نشر دانشگاه شهید بهشتی
۲۱. گلابچی، محمود و عباسعلی شاهرودی (۱۳۸۹) مقدمه‌ای بر تکنولوژی و هویت، روزنامه اعتماد ملی؛ به نقل از پایگاه هنری تیبان؛
۲۲. گلابچی، محمود، مظاهریان، حامد (۱۳۸۸). فناوری‌های نوین ساختمانی، موسسه انتشارات دانشگاه تهران.
۲۳. گلن، آرتور (۱۳۸۸) تکنولوژی به‌عنوان پدیده‌ای فلسفی، مترجم: منوچهر صانعی، ماهنامه حکمت و معرفت، شماره ۷، پیاپی ۳۷.
۲۴. لفافچی، مینو و دهباشی شریف، مزین و اعتصام، ایرج (۱۳۹۹)، شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های معماری و فرهنگ با تکیه بر کاربرد تکنولوژی در عصر جهانی‌شدن (مورد مطالعه: شهر تهران)، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۹، زمستان ۹۹، ۲۶۷-۲۵۳.
۲۵. محمود نژاد، ابراهیم (۱۳۸۰) مدیریت بر آینده با تکنولوژی فردا، انتشارات انستیتو ایز ایران.
۲۶. محمودی نژاد، هادی (۱۳۸۹) نقد هایدگر از تفکر تکنیکی، روزنامه جهان امروز، شماره ۱۱۸۹.
۲۷. معماریان، غلام‌حسین (۱۳۷۱) معماری مسکونی ایرانی، گونه شناسی برون‌گرا، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران
۲۸. میربخت، سمانه (۱۳۹۵)، روش‌ها و فناوری‌های نو در معماری، سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، برلین، آلمان، تیر ۹۵.
۲۹. میزانی، سهیل (۱۳۹۷)، سیستم‌های مدیریت انرژی در خانه‌های هوشمند، مجله تخصصی مدیریت (تدبیر)، مدیریت انرژی، سال بیست و نهم، شماره ۳۰۹، آذر ۱۳۹۷، ۱۳-۱۹.
۳۰. ناجی، سعید (۱۳۹۲) روح تکنولوژی مدرن و جایگاه تفکر در مدارس، نشریه تفکر و کودک، سال چهارم، شماره اول.
۳۱. وفامهر، محسن (۱۳۹۲) سیری در اندیشه‌های تکنولوژی معماری، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، تهران.
۳۲. هایدگر، مارتین، (۱۳۸۶)، پرسش از تکنولوژی، ترجمه شاپور اعتماد، نشر مرکز، چاپ سوم، تهران.
33. Albert Borgmann, Crossing the Postmodern Divide (1992) Chicago: University of Chicago Press.88.
34. Morre, Steven. A. (2007), Technology, Places and Non-MODERN regionalism. Regionalism for the Third Millennium, 432-442.
35. Aristotle (1998), The Nicomachean Ethics, Oxford: Oxford University Press, Book V1, 4,1139b 311140a20, p.141.
36. Ashihara, Y (1983), The aesthetic Townscape. Trans. Lynne E.Riggs, Cambridge: Mit press.
37. Audi .R (1995), The Cambridge Dictionary of Philosophy, Cambridge: Cambridge University Press, 1995, p.796.
38. Borden.I. & DDunster (1995) architecture and the sites of history: interpretation of building &cites. Oxford: Butterworth architecture.
39. Bremner,L (1994) "space &the nation: three texts on aldo rossi",society &space , No.12,pp: 300-287
40. Brolin, B.C (1980) architecture in context: Fitting new building with old. New York: van Nostrand Reinhold.
41. Geddes, p (1968) cites in Evolution: an introduction to the Town planning Movement and to the study of cities.london: Emesst Benn Limited.
42. Hiller, B&Hanson (1984) the social Logic of space Cambridge: Cambridge university Press.
43. Hutchinson, D.C, (1995), Ethics, in Barnes (ed.) The Cambridge Companion to Aristotle, Cambridge: Cambridge University Press, 1995, p.206.
44. Madnipour, Ali (2007), Designing the City of Reason, London, Routledge Press.
45. Martin Heidegger, "Science and Reflection", The Question Concerning Technology and Other Essays 172.

46. Martin Heidegger, "The Question Concerning Technology," *The Question Concerning Technology and Other Essays*, Trans/ William Lovitt (New York: Harper & Row, 5)1977.
47. Martin Heidegger, "What are Poets for?" *Poetry, Language, Thought* (New York: Harper & Row) 1971 112.
48. Martin Heidegger, *Discourse on Thinking*, trans. M.Anderson and E.Hans Freud (New York: Harper & Row, 54)1966.
49. Martin Heidegger, *Nietzsche*, Vol. 4 (New York: Harper & Row, 28)1982.
50. Stokols, D& I.Altman (1987) *handbook of environmental psychology*. New York: John wiley & Sons.
51. Waterhouse, A (1978) *Boundaries of the city: The Architecture of Western Urbanism*. Toronto: University Press.

یک مدل جدید برای اختلالات میزان نفوذپذیری به دلیل رسوب آسفالتین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۴

کد مقاله: ۳۳۵۸۷

سید بهروز کشاورز^۱، علی جلوه گر فیلبند^۲

چکیده

مدل‌های نظری و تجربی موجود برای توصیف رسوب آسفالتین در واسطه‌های متخلخل، ساختار پیچیده از شبکه حفره‌ها را در نظر نمی‌گیرند. کاهش میزان نفوذپذیری به دلیل رسوب آسفالتین عمدتاً به دلیل کاهش حجم حفره‌ها بوده است (کاهش نسبت خلل و فرج به حجم). با این حال، ذرات آسفالتین نیز می‌توانند دهانه حفره‌ها را متوقف می‌کنند که باعث کاهش شدید نفوذپذیری می‌شود، حتی اگر مقدار زیادی از حجم کل حفره ممکن است هنوز هم دست نخورده باقی بماند. بنابراین، نیاز به یک مدل‌های نفوذپذیری وجود دارد که به صراحت به صورت اتصالاتی از حفره / هیدرولیک عمل کنند. این مقاله به بررسی مدل‌های موجود و به بررسی مدل نفوذپذیری می‌پردازد که میزان اختلالات میزان نفوذپذیری به دلیل رسوب آسفالتین است. در این مطالعه، ما یک مدل نفوذپذیری جدید مبتنی بر تحلیل بحران را (CPA) ارائه می‌کنیم که یک تابع از میانگین تعداد هماهنگی (میانگین تعداد حفره‌های همسایه در دسترس / متصل) است. علاوه بر این، داده‌های تجربی در ادبیات مربوط به نمونه‌های سنگ آهک، سنگ ماسه و کربنات (دولومیت) به درک اثرات ترکیبی از سطح رسوب و اتصالات ضعیف به دلیل انسداد حفره با کاهش میزان نفوذپذیری است. ما مشاهده کردیم که سطح رسوب یک مکانیسم برتر در نمونه‌های سنگ آهک مورد مطالعه در اینجا با نسبت اندازه بزرگ از دهانه حفره در مقایسه با اندازه ذرات است. در نمونه‌های سنگ ماسه، هر دو سطح رسوب و مکانیزم اتصالات دهانه‌ی حفره نسبتاً سهم یکسانی در کاهش میزان نفوذپذیری دارند. برای نمونه‌های کربنات (دولومیت)، مکانیسم انسداد حفره یک روش برتر است که منجر به کاهش شدید سریع نفوذپذیری می‌شود. انتظار می‌رود که نتیجه این کار پیش‌بینی از رسوب آسفالتین را در منطقه نزدیک چاه بهبود دهیم.

واژگان کلیدی: رسوب آسفالتین، کاهش میزان نفوذپذیری، سطح رسوب، اتصالات حفره

۱- گروه مهندسی نفت، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران

۲- گروه مهندسی نفت، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران

۱- مقدمه

مسئله رسوب آسفالتین صنعت نفت و گاز را چند دهه است که مورد بررسی قرار داده است و به طوری که مورد شناسایی شده و به عنوان "آسفالتین" در سال ۱۸۳۷ نام گرفت. [۱] با توجه به هزینه های عظیم مربوط به تصفیه، درک مسئله رسوب آسفالتین و عوامل موثر بر آن بسیار مهم است [۲]. نفت خام دارای چندین بخش است و آسفالتین اساسا سنگین ترین بخش آن بوده و دارای عملکرد قطبشی است. آنها به علت توانایی آنها در رسوب به عنوان جامد و سپس با تغییر فشار رسوب و دما و ترکیبات تحت عنوان "کلسترول بنزین" شناخته می شوند [۳]. رسوب آسفالتین به صورت فرآیندی نامیده می شود که آسفالتها تبدیل به یک مرحله جداگانه از نفت خام می شوند. آنها در فاز مایع به حالت تعلیق در می آیند به طوری که در آن مقدار و اندازه آسفالتین نسبتا کوچک است. آسفالتین های رسوب شده با هم (تجمع) و ذرات بزرگتر نیز تشکیل می شوند که فلوکوس (توده جمع شده) نامیده می شود. آسفالتین جمع شده در ابتدا در نفت خام در حالت تعلیق هستند. بعدا توده جمع شده می توانند به هم متصل شوند و در سطوح مختلف انباشته شوند و موجب ایجاد یک فرآیند تحت عنوان رسوب آسفالتین شوند [۴]. در هر دو عملیات رسوب بالا و پایین ممکن است با چالش ها و مسائل های زیادی همراه باشند. آسفالتین ممکن است در سطوح خطوط لوله، پایین ستون تقطیر و مبدلهای حرارتی نیز رسوب کند و همچنین بر کارایی و ایجاد هزینه های اقتصادی افزوده شده جهت بهبود تاثیر گذارد [۵].

همچنین در طی تولید، ذرات آسفالتین می توانند در مخزن ذخیره شوند و منجر به مسدود شدن جریان، به ویژه در نزدیکی منطقه چاه شود. مسئله رسوب آسفالتین در عمق پایین در مخازن سنگ بسیار مشکل و مسئله ساز است، و روش های مقابله با آن بسیار چالش برانگیز بوده و به عنوان یک مسئله تولید رسوب در لوله، مطرح است. [۶] نمونه های هسته ای مختلفی با ویژگی های مختلف سنگ در آزمایش های هسته سیل، با توجه به مسئله متخلخل مطالعه کرد. او نتیجه گرفت که نمونه متخلخل اتصالی نمونه برداری فقط به نظر می رسد پس از اینکه نفت به اندازه کافی از طریق نمونه نشت میکند رخ می دهد و آسیب هایی در اوایل زمان فقط در نمونه هایی با نفوذ پذیری اولیه پایین تر مشاهده شد [۷]. مکانیسم هایی که از طریق آسیب رسوب به دلیل رسوب آسفالتین رخ می دهد، عبارتند از رسوب سطح و اتصالات دهانه حفرة است. از آنجا که رسوبات آسفالتین در سطح منافذ انباشته می شود کاهش ناحیه سطح حفرة منجر به کاهش تخلخل می شود. علاوه بر این، هنگامی که رسوبات آسفالتین در برابر حفرة جمع می شوند، می توانند آنها را پلاگین کنند که باعث کاهش شدت نفوذ پذیری می شوند.

برای مدل سازی اختلال نفوذ پذیری در مدل متخلخل به دلیل رسوب آسفالتین، مدل های تختخواب دودکش (DBF) اغلب استفاده می شود [۸]. با استفاده از نظریه DBF، وانگ [۹] مدل Civan را برای نزدیک شدن به تغییر رسوب آسفالتین چاه، با فرض فشار ناگهانی جزئی و یک جریان افقی یک بعدی به صورت زیر دنبال می شود:

$$\frac{\partial E_A}{\partial t} = \alpha C_A \phi - \beta E_A (v_L - v_{cr,L}) + \gamma u_L C_A \quad (1)$$

به طوریکه E_A کسری از حجم رسوب آسفالتین ها است؛ v_L سرعت شکاف ها، $(=u_L/\phi)$ سرعت شکاف بحرانی است؛ $v_{cr,L}$ سرعت سطحی است α ضریب رسوب سطح است β ضریب میزان جذب است γ ضریب اتصالات دهانه حفرة ها است. اولین جمله در معادله (۱) نشان دهنده میزان رسوبدهی سطح حفرة ها است که به طور مستقیم متناسب با غلظت ذرات معلق در جریان مایعات است؛ اصطلاح دوم، تحریک ذرات آسفالتین (حذف را به دلیل نیروی کشش) است که بیان می کند که دارای برتری بالاتر نسبت به سرعت شکاف بحرانی دارد [۸]؛ و آخرین اصطلاح برای نسبت اتصالات دهانه حفرة ها، این است که در آن میزان پلاگین به طور مستقیم با سرعت سطحی متناسب است. وانگ [۱۰] تعریف ضریب اتصالات حفرة را به صورت زیر تعریف می کند تعریف کرد، γ :

$$\gamma = \gamma_i (1 + \sigma E_a), \text{ if } 0 > R > R_c \\ \gamma = 0, \text{ otherwise} \quad (2)$$

به طوریکه σ ثابت میزان رسوب است R به نسبت اندازه ذرات به اندازه دهانه حفرة، R_c به نسبت بحرانی اندازه ذرات به اندازه دهانه حفرة اشاره دارد که طبق معادله (۲) دهانه حفرة در شرایطی است که قطر دهانه حفرة بحرانی بزرگتر از حد متوسط است قطر دهانه حفرة است.

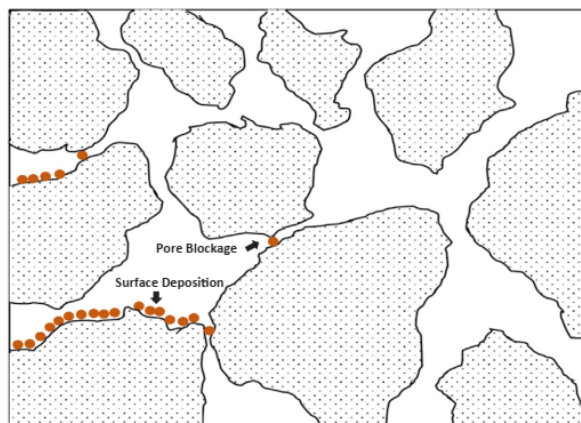
رسوب آسفالتین می تواند منجر به کاهش تخلخل و نفوذپذیری شود. با این حال، در اکثر مدل های موجود، کاهش نفوذپذیری تنها به کاهش حجم حفرة (کاهش تخلخل) منجر می شود. تخلخل پویایی محلی به صورت تفاوت بین تخلخل اصلی، ϕ_i و کسری از رسوبات آسفالتین، ε محاسبه می شود.

$$\phi = \phi_i - \varepsilon \quad (3)$$

علاوه بر این، تغییر نفوذ پذیری به عنوان یک عملکرد تخلخل و به عنوان یک تابع کاهش تخلخل تخمین زده می شود:

$$\frac{k}{k_i} = \left(\frac{\phi}{\phi_i} \right)^3 \quad (4)$$

با این حال، در معادله (۴) اتصالات ضعیف (اتصال متقابل) تا به حال در نظر گرفته نشده است و کاهش نفوذپذیری تنها به دلیل کاهش حجم حفره است. آن به خوبی شناخته شده است که تخلخل مؤثر می تواند به دلیل کاهش انبساط حجمی کاهش یابد و در نتیجه قابلیت نفوذ پذیری می تواند کاهش یابد. با این حال، نفوذپذیری نیز ممکن است به علت کاهش اتصالات ضعیف / و هدایت هیدرولیکی (کاهش تعداد هماهنگی) مکانیزم اتصالات حفره را تغییر دهد (شکل (۱)). در موارد افراطی ممکن است اثر انسداد معیوب قابل توجهی رخ دهد. حجم کل حفره ممکن است حتی زیاد تغییر نکند. همانطور که بعداً جزئیات بیشتری در مورد نمونه سنگ بررسی خواهد شد یک قطعه بزرگ از حفره با قطر قابل مقایسه با اندازه ذرات، دهانه حفره ها می توانند به راحتی وصل و مسدود شوند این منجر به کاهش شدت نفوذ پذیری حتی زمانی که مقدار زیادی از فضای حفره هنوز دست نخورده باقی مانده است خواهد شد. بنابراین، با توجه به مدل های نفوذپذیری که هر دو را در نظر می گیرند، مطالعه رسوب آسفالتین در رسانه های متخلخل حیاتی است کاهش تخلخل و اتصالات سست حفره ها، به ویژه برای مخازن با حفره کوچک که قابل مقایسه با اندازه ذرات مهم است.



شکل (۱): شبیه سازی از کاهش نفوذ پذیری به دلیل رسوب سطح و اتصالات حفره ها.

جدول (۱): نمونه پارامترهای اولیه .

Sample #	Asphaltene wt%	Initial Porosity, %	Initial Permeability, md	Initial Coordination Number, z
Limestone #1	6.56	48.54	1062.5	8.5
Limestone #2	16.3	22.5	106.6	6.4
Sandstone #1	6.56	49.16	1089.6	8.5
Sandstone #2	16.3	13.5	22.8	4.9
Sandstone #3	12.94	16.0	66.3	5.4
Carbonate #1	0.06	17.17	4.67	5.6
Carbonate #2	0.87	21.2	6.32	6.2
Carbonate #3	1.5	19.24	5.48	5.9

در این مطالعه، ما یک مدل نفوذپذیری مبتنی بر تجزیه و تحلیل مسیر بحرانی (CPA) را توسعه می دهیم که کسری از میانگین شماره هماهنگی (متوسط تعداد حفره های همسایه های موجود / متصل) را نشان می دهد. علاوه بر این، داده های تجربی در ادبیات مربوط به سنگ آهک، سنگ ماسه و نمونه های کربنات (دولومیت) برای درک اثرات متفاوتی از رسوب گذاری سطح و تلفات اتصال به دلیل انسداد حفره در کاهش نفوذ پذیری استفاده می شود.

۲- مدل نفوذپذیری

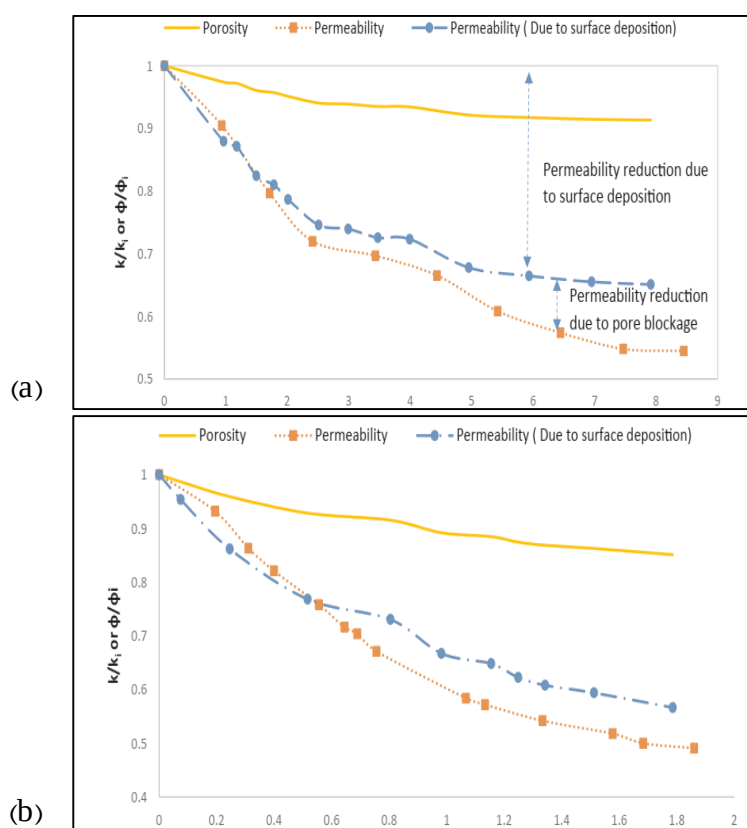
تعامل بین تخلخل / ذخیره سازی و نفوذ پذیری / هدایت هیدرولیک برای دهه ها است که مورد بررسی قرار گرفته است. [۲] یکی از مدل های نفوذپذیری اساسی معادله Kozeny-Carmen (KC) است که محیط متخلخل به عنوان یک بسته نرم افزاری از لوله های استوانه ای در نظر گرفته شده است:

$$k = \frac{1}{c} \frac{\phi}{\tau} \frac{1}{S_{gv}} \left(\frac{\phi}{1-\phi} \right)^2 \quad (5)$$

با این حال، سیوان [۵] پیشنهاد کرد که معادله KC به درستی نمی تواند اثر دروازه / شیر از واسط متخلخل (اتصال حفره ها / هیدرولیک) برای پیش بینی نفوذ پذیری زمانی که دهانه حفره مسدود شده و جدا شده را مورد مخاطب قرار میدهد. بنابراین، او مدل KC را با استفاده از پارامتر اتصال، Γ تغییر داد:

$$k = \Gamma \phi \left(\frac{\phi}{1-\phi} \right)^{2\beta} \quad (6)$$

Γ مقدار اندازه گیری از اتصال فضای حفره است و نشان دهنده آن است که اثر دریچه از کنترل دهانه ی حفره از اتصال حفره به دیگر فضاهای حفره است [۶]. پارامتر اتصال، یک عملکرد قوی از میانگین شماره هماهنگی، (شماره دهانه های حفره) زمانی صفر میشود اگر تمام دهانه حفره ها به علت مکانیزم هایی مانند حرکت خوب، رسوب از رسوبات از جمله ژل، موم و آسفالتین و فروپاشی دهانه های حفره تحت فشار مکانیکی است مسدود شود.



شکل (۲): تاثیر رسوب سطح و انسداد حفره بر کاهش نفوذپذیری برای (a) سنگ آهک شماره ۱ (b) آهک شماره ۲.

۳- مدل مبتنی بر CPA

اگر چه مدل های مبتنی بر فرض بسته نرم افزاری لوله های مویرگی به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند، آنها به اندازه کافی پیچیده نیستند تا ساختار پیچیده از رسانه های متخلخل را نشان دهند. بنابراین، مدل مبتنی بر نفوذ پذیری برای حل مسائل مربوط به بسته نرم افزاری از فرضیه لوله های مویرگی است. اندازه حفره به محیط متخلخل طبیعی به فرکتال هندسه /

پوسته پوسته شدن بستگی دارد و استفاده از هندسه فراکتال برای پیش بینی موفقیت در میزان نفوذ پذیری را به دست می دهد. مدل کاتز و تامپسون یکی از اولین تلاش ها برای پیاده سازی نظریه نفوذ بود تجزیه و تحلیل مسیر بحرانی برای تعیین نفوذپذیری است. آنها بحث کرده اند که جریان سیال و هدایت الکتریکی از طریق رسانه متخلخل دارای فرایندهای نفوذپذیری هستند و میزان نفوذپذیری میتواند به هدایت الکتریکی و شعاع بحرانی دهانه مربوط میشود:

$$k = \frac{1}{c} \frac{\sigma_b}{\sigma_w} r_c^2 = \frac{r_c^2}{c} \frac{1}{F} \quad (7)$$

به طوری که σ_b میزان هدایت الکتریکی است، σ_w هدایت مایعات اشباع الکتریکی است، (r_c) و c یک مقدار ثابت است. در اینجا (r_c) شعاع دهانه حفره، که به عنوان بزرگترین مقدار r تعریف شده است، که برای آن یک مسیر اتصال ممکن است از یک طرف یک سیستم به دیگری وجود داشته باشد. کتز و تامپسون استدلال کرد که شعاع بحرانی حفره را می توان از طریق داده های نفوذی پذیری جیوه و تاثیر نقطه بر منحنی انفصال جیوه مربوط به این شعاع بحرانی حفره محاسبه کرد. شعاع حفره انتقادی را می توان با در نظر گرفتن یک مقدار آستانه برای میزان نفوذپذیری به صورت زیر بیان کرد:

$$r_c = r_{\max} (1 - p_c)^{\frac{1}{3-D}}, \quad (8)$$

به طوری که $r_{\max}$ حداکثر شعاع نفوذ پذیری حفره است، D قطر فراکتال است، و p_c مقدار آستانه نفوذپذیری بحرانی است. علاوه بر این، عامل تشکیل، F که نسبت هدایت الکتریکی به هدایت الکتریکی از مایع اشباع حفره است، همچنین ممکن است از نظر تخلخل کل و مقدار آستانه نفوذپذیری به صورت زیر بیان می شود.

$$\frac{1}{F} = \left[\frac{\phi (1 - p_c)}{1 - \phi p_c} \right]^m \quad (9)$$

با ترکیب معادله ۷ و ۹، دیاگول میزان نفوذپذیری را به صورت زیر بیان میکند:

$$k = \frac{r_{\max}^2}{c} \left(\frac{\phi}{1 - \phi p_c} \right)^m (1 - p_c)^{\frac{2}{3-D} + m}, \quad (10)$$

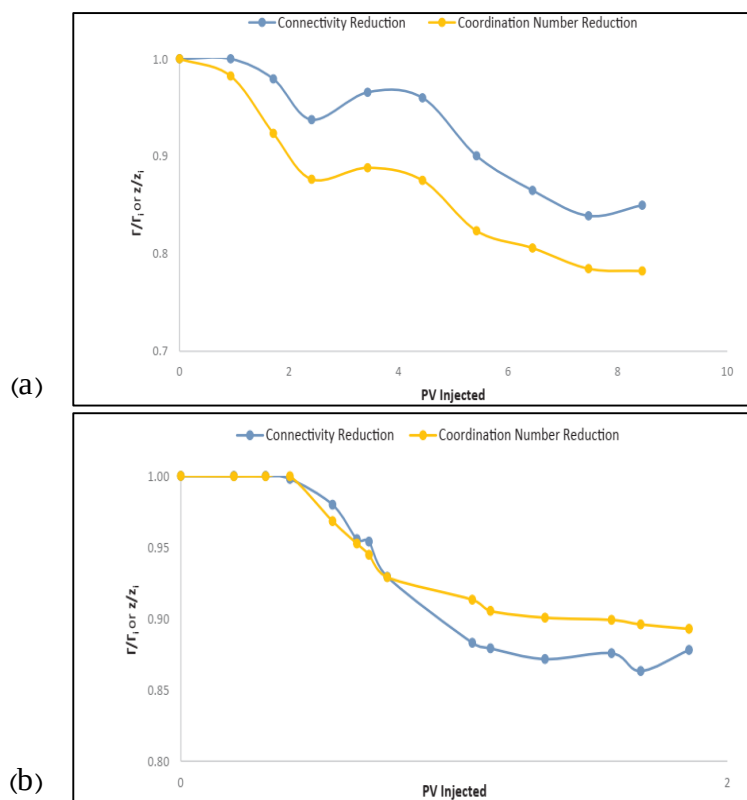
مقدار آستانه نفوذپذیری بحرانی را می توان از نظر تعداد هماهنگی به صورت $p_c = 1.5 / z$ بیان کرد، بنابراین معادله (۱۰) را می توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$k = \frac{r_{\max}^2}{c} \phi^m \left(\frac{z}{z - 1.5\phi} \right)^m \left(1 - \frac{1.5}{z} \right)^{\frac{2}{3-D} + m} \quad (11)$$

بنابراین با فرض $1 - \phi p_c \approx 1$ معادله ی ۱۱ را می توان به صورت زیر ساده سازی کرد:

$$k = \frac{r_{\max}^2}{8} \phi^m \left(1 - \frac{1.5}{z} \right)^{\frac{2}{3-D} + m} \quad (12)$$

وقتی معادله (۱۲) با مدل Civan (معادله (۶) مقایسه شده است، واضح است که $r_{\max}^2 \phi^2 / 8$ دارای حداکثر میزان نفوذپذیری قابل دستیابی است به طوری که $(1 - 1.5/z)^{\frac{2}{3-D} + m}$ نشان دهنده رابطه بین گره (Γ) است. با شماره هماهنگی، Z می شود نزدیک به ۱.۵، میزان نفوذپذیری به دلیل بسته شدن اثرات فلکه شیر تقریباً صفر است.



شکل (۳): نسبت اتصال و کاهش تعداد هماهنگی برای (a) آهک # ۱ (b) آهک # ۲.

۴- کاهش قابلیت نفوذ پذیری - اثر رسوب سطح و انسداد حفره

اثرات کاهش حجم ضخامت حفره هر دو به دلیل رسوب سطح و اتصالات ضعیف به دلیل اتصالات حفره برای کاهش میزان نفوذ پذیری می تواند بر اساس مدل نفوذپذیری Civan توصیف شود (معادله ۶)، با در نظر گرفتن β به طور واحد داریم:

$$\frac{k}{k_i} = \pi \frac{\overbrace{\frac{\phi^3}{(1-\phi)^2}}^{\text{Surface Deposition}}}{\frac{\phi_i^3}{(1-\phi_i)^2}} * \underbrace{\frac{\bar{\Gamma}}{\Gamma_i}}_{\text{Pore Plugging}} \quad (13)$$

به طوریکه طرف اول و دوم در سمت راست معادله (۱۳) میزان کاهش نفوذ پذیری به دلیل قرار گرفتن در معرض سطوح و حفره را بیان میکند، به ترتیب اگر انسداد حفره ناچیز باشد، سپس رسوب سطح تنها مکانیسم کمک به کاهش تخلخل و میزان نفوذپذیری خواهد بود که به صورت زیر ساده میشود:

$$\frac{k}{k_i} = \frac{\frac{\phi^3}{(1-\phi)^2}}{\frac{\phi_i^3}{(1-\phi_i)^2}} \quad (14)$$

متناوبا فرض می کنیم $r_{max}^2/r_{max-i}^2 = \phi/\phi_i$ میزان کاهش نفوذپذیری از معادله ۱۱ به صورت زیر بیان میشود:

$$\frac{k}{k_i} = \left(\frac{\phi}{\phi_i}\right)^{m+1} \left(\frac{1-\frac{1.5\phi_i}{z_i}}{1-\frac{1.5\phi}{z}}\right)^m \frac{\left(1-\frac{1.5}{z}\right)^{\frac{2}{3-D}+m}}{\left(1-\frac{1.5}{z_i}\right)^{\frac{2}{3-D}+m}} \quad (15)$$

به طوریکه z_i شماره هماهنگی اولیه که می تواند به صورت کسری از میزان تخلخل اولیه داریم:

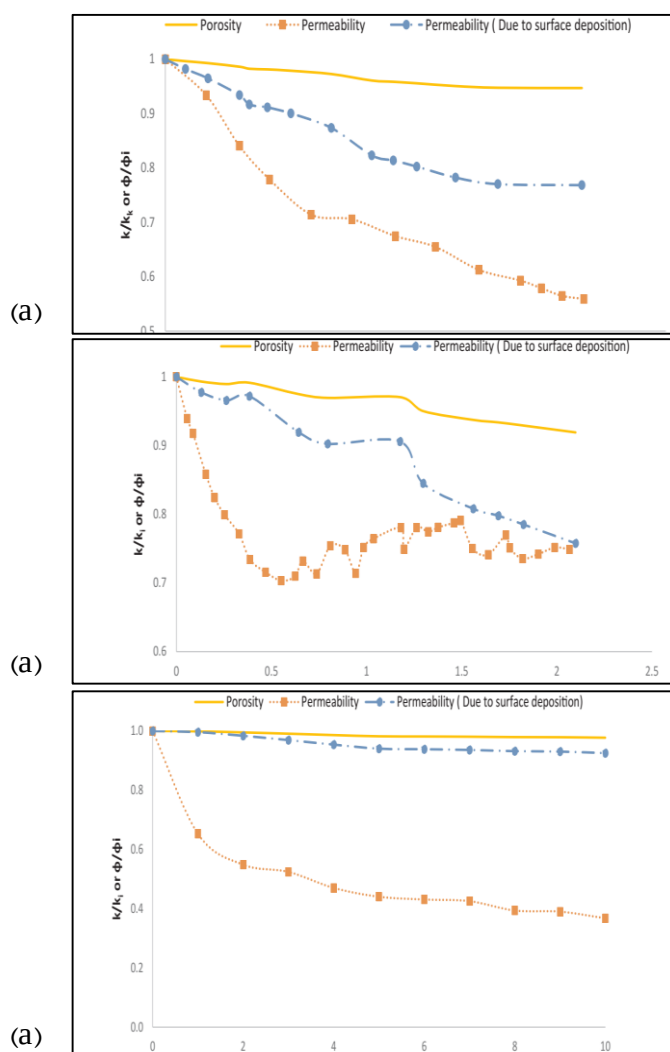
$$z_i = A + B \log(\phi) \quad (16)$$

جایی که هر دو A و B ثابت هستند. برای سیستم دو بعدی 10.4 A و B برابر با ۶/۲۵ باشد. در مورد $\phi_{pc} \approx 11$ ، معادله (۱۵) ساده‌تر خواهد شد:

$$\frac{k}{k_i} = \left(\frac{\phi}{\phi_i} \right)^{m+1} \frac{\left(1 - \frac{1.5}{z} \right)^{\frac{2}{3-D}+m}}{\left(1 - \frac{1.5}{z_i} \right)^{\frac{2}{3-D}+m}} \quad (17)$$

۵- مطالعات موردی - ارزیابی رسوبات سطح و اثرات اتصالات حفره

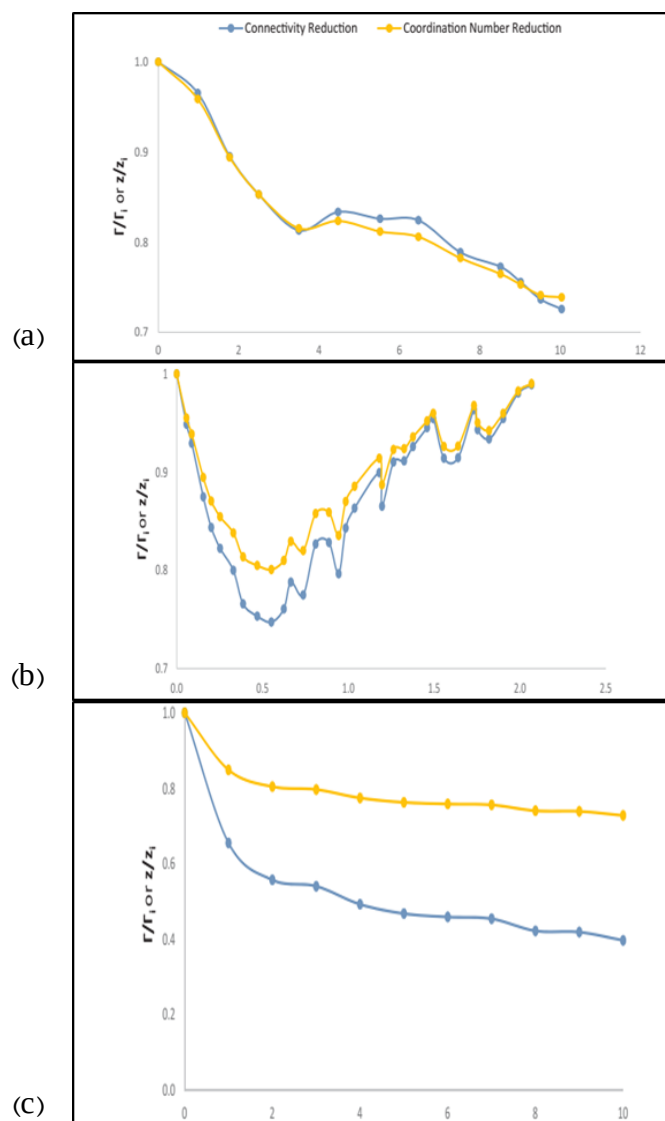
برای نشان دادن اثرات بیشتر رسوب سطح و اثرات متخلخل حفره برای کاهش قابلیت نفوذپذیری، از چندین مجموعه داده‌های تجربی استفاده شده است.



شکل (۴): تاثیر سطح رسوب و انسداد حفره بر کاهش نفوذپذیری برای (a) ماسه سنگ # ۱ (ب) ماسه سنگ # ۲ (ج) ماسه سنگ # ۳

اطلاعات بدست آمده از نمونه های هسته ای سنگ آهک، ماسه سنگ و کربنات (دولومیت) در اینجا مورد ارزیابی قرار می گیرد. در این آزمایش ها، رسوب آسفالتین (آسفالتین ماده ای است سخت مانند زغال سنگ که در ته مانده نفت کوره حاصل از تقطیر نفت خام باقی می ماند) از طریق اندازه گیری افت فشار در داخل ظرف اندازه گیری میشود. مقدار آسفالتین رسوب شده درون هسته از طریق تفاوت مقدار آسفالتین در جریان ورودی و خروجی مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از مجموعه داده های تجربی، هر دو نسبت خلل و فرج به حجم اولیه و همچنین تخلخل (نسبت خلل و فرج به حجم) آسیب دیده / کاهش یافته، با تخلیه حجم کل آسفالتین رسوب شده از حجم حفرات اولیه نمونه هسته محاسبه می شود. خواص نمونه اولیه و مقادیر میانگین مقادیر هماهنگی (معادله (۱۶) برای این نمونه ها در جدول (۱) آورده شده است.

بعد، کاهش نفوذپذیری به عنوان یک عملکردی از کل حجم حفرات تزریقی برای همان مجموعه داده‌های آزمایشی محاسبه می‌شود. همانطور که انتظار می‌رود، هر دو کاهش نسبت خلل و فرج به حجم و آسیب نفوذ پذیری به عنوان تابعی از حجم حفرات تزریق شده (PVI) در نظر گرفته شد. حجم تزریقی بزرگتر، کاهش بیشتر در هر دو نفوذ پذیری و تخلخل قابل تشخیص بود. از آنجایی که کاهش تخلخل به عنوان یک اثر حجم حفرات تزریقی شناخته شده است (از داده‌های آزمایشی)، کاهش نفوذپذیری ناشی از سطح رسوب را می‌توان با استفاده از معادله (۱۴) محاسبه کرد و نسبت بین مقادیر پیش بینی شده و واقعی نفوذپذیری که در مجموعه داده‌ها اندازه گیری شده است معادله (۱۳) که می‌تواند منجر به از دست دادن اتصال حفره‌ها شود.

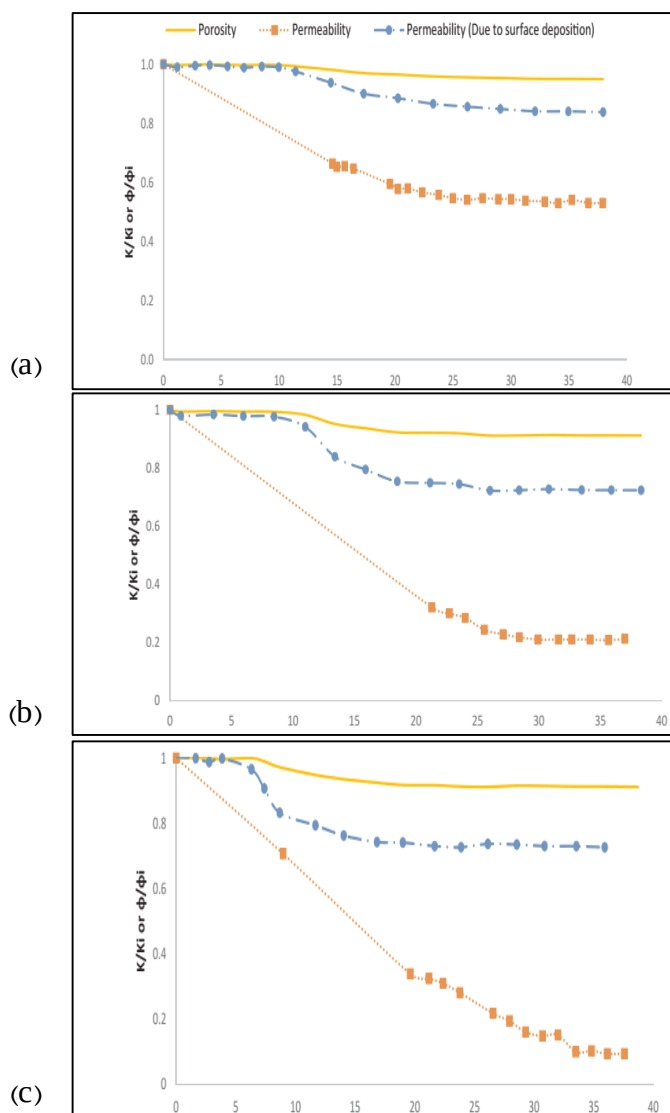


شکل (۵): نسبت اتصال و کاهش تعداد هماهنگی برای (a) ماسه سنگ # ۱ (ب) ماسه سنگ # ۲ (ج) ماسه سنگ # ۳ را نشان می‌دهد /

علاوه بر این، میانگین کاهش تعداد هماهنگی را می‌توان از معادله (۱۵) برای نمونه‌هایی با تخلخل اولیه بالا و از معادله (۱۷) برای نمونه‌هایی با تخلخل اولیه پایین به دست آورد.

۶- نمونه‌های سنگ آهک

به طور آزمایشی تخمین تخلخل و کاهش نفوذ پذیری (به عنوان یک تابع از افزایش فشار موثر) برای نمونه‌های سنگ آهک با مقادیر نسبت نفوذ پذیری پیش بینی شده صرفاً به دلیل رسوب سطحی (معادله ۱۴) همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، مقایسه شده است.

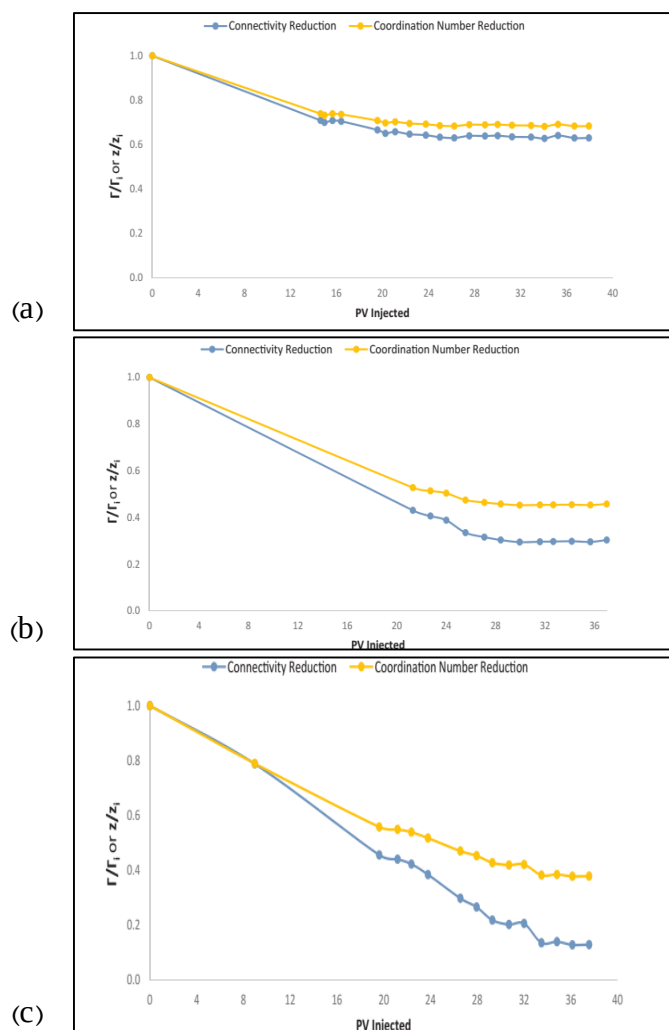


شکل (۶): تاثیر رسوب سطح و انسداد حفره ها بر کاهش نفوذپذیری برای (a) کربناته # ۱ (b) کربنات # ۲ (c) کربنات # ۳

نفوذپذیری حدود ۵۰ درصد کاهش یافته است و مقادیر پیش بینی شده از معادله (۱۴) نزدیک به داده های اندازه گیری شده است. این به وضوح نشان می دهد که کاهش میزان نفوذ پذیری در نمونه های آهکی می تواند تنها به کاهش حجم انبساط منجر شود. نسبت اتصال به یکدیگر بر اساس معادله (۱۳) و کاهش تعداد هماهنگی براساس معادله (۱۵) برآورد شده است که در شکل (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که اتصالات ضعیف برای هر دو نمونه آهک در محدوده ۱۲-۱۵٪ قرار دارد. علاوه بر این، مقدار هماهنگی برای مقدار اولیه ۸/۵-۶/۶۵ (۲۲٪ کاهش) برای سنگ آهک شماره ۱ و ۶/۴ تا ۵/۷ (کاهش ۱۱٪) برای سنگ آهک شماره ۲ کاهش می یابد که می تواند به راحتی نتیجه گرفت که برای نمونه های سنگ آهک ساز و کار آسیب اصلی به دلیل سطح رسوب است و اثر انسداد حفره ها جزئی است.

۷- نمونه های ماسه سنگ

برای نمونه های ماسه سنگی مورد مطالعه در اینجا، نتایج ما نشان می دهد که کاهش نفوذ پذیری در محدوده ۴۵٪ برای نمونه اولیه، ۳۰٪ برای نمونه دوم و ۶۳٪ برای آخرین نمونه (شکل ۴)، است.

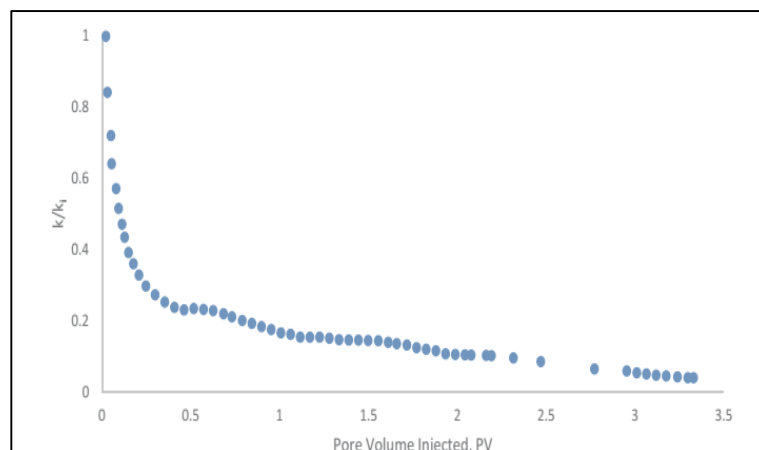


شکل (۷): نسبت اتصالات و کاهش تعداد هماهنگی برای (a) کربنات # ۱ (b) کربنات # ۲ (c) کربنات # ۳.

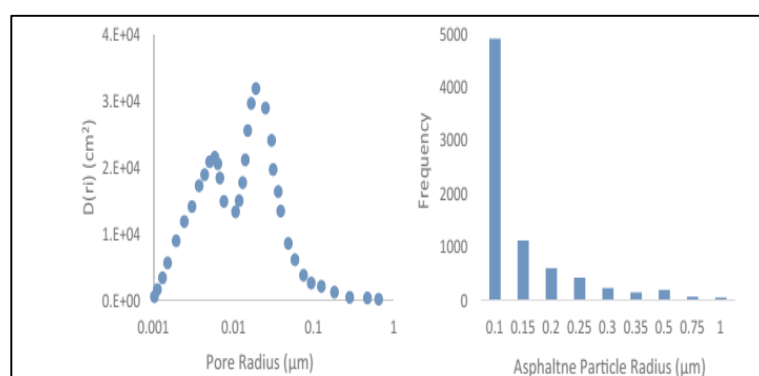
به طوری که اتصالات از دست رفته حدود ۲۷٪، ۲۵٪ و ۶۰٪ است (شکل (۵)). علاوه بر این، تعداد هماهنگی‌ها برای ماسه سنگ شماره ۱ از ۸/۵ به ۶/۳ کاهش یافته است (۲۶٪ کاهش)، برای ماسه سنگ شماره ۲ آن را از ۴/۹ به ۳/۹ (کاهش ۲۰٪) کاهش می‌دهد و برای ماسه سنگ شماره ۳ از ۵/۴ به ۴ (کاهش ۲۷٪). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که برای نمونه‌های ماسه سنگی که در این مطالعه استفاده شده است، مکانیزم رسوب گذاری سطح و مکانیزم انسداد حفره نسبت به کاهش نفوذپذیری سهم قابل توجهی دارد. علاوه بر این، برای یکی از نمونه‌های ماسه سنگ (نمونه شماره ۲)، اتصالات از دست رفته پس از مقادیر کاهش اولیه بهبود می‌یابد (شکل (۵)). این بهبود ممکن است به دلیل افزایش فشار تزریق (احتمالاً برای حفظ میزان ثابت تزریق) به طوری که نیروی کششی کافی را برای حذف ذرات سپرده قبلی را تولید می‌کند.

۸- نمونه‌های کربنات

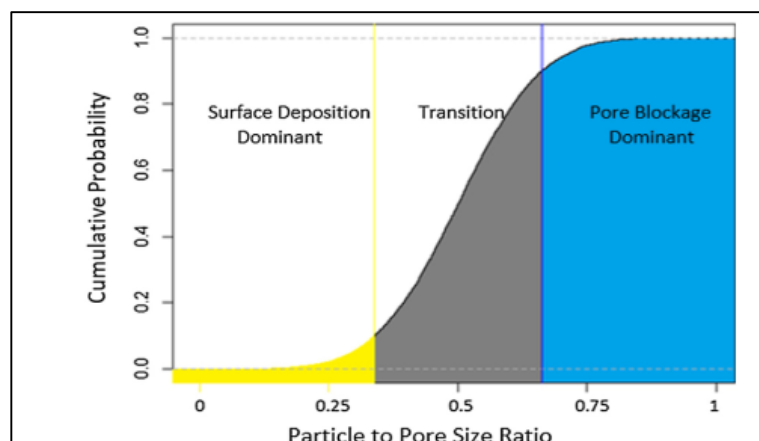
برای نمونه‌های کربناته مورد مطالعه در اینجا، نتایج ما نشان می‌دهد که کاهش نفوذ پذیری واضح تر از نمونه‌های سنگ آهک و سنگ‌های ماسه سنگی است، در حالی که تغییر تخلخل (نسبت خلل و فرج به حجم) کمتر است. شکل (۶).



شکل (۸): کاهش میزان نفوذپذیری به صورت یک تابع از تزریق PV برای نمونه کربنات



شکل (۹): (a) توزیع اندازه حفره ها و (b) توزیع اندازه ذرات.



شکل (۱۰): توزیع تراکم توزیع عمومی برای نسبت ذرات به اندازه حفره ها.

نتایج نشان می دهد که سهم مکانیسم متصل کردن دهانه حفره در کاهش میزان نفوذپذیری در محدوده ۳۷٪ برای نمونه اول است، که در آن مقدار برای نمونه های دوم و سوم، حدود ۷۰٪ و ۸۸٪ است، و تعداد هماهنگی به ترتیب از ۳۲٪، ۵۵٪ به ۶۳٪ کاهش می یابد (شکل ۷)). یکی از دلایل اصلی از دست رفتن ارتباط شدید در نمونه های کربنات، این است که برای تشکیلات با میزان نفوذپذیری کم، اندازه قطر حفره ها نسبتاً کوچک است و بنابراین بر متخلخل حفره ها غالب می شود. مکانیزم اتصال حفره ها منجر به کاهش شدید نفوذپذیری می شود و کسر زیادی از فضای خالی حفره ها را بدون آسیب می گذارد. علاوه بر این، وجود گروه های قطبی در سطح داخلی نمونه های کربنات، مولکول های آسفالتین را بیشتر به سطح سنگ متصل می کنند و از این رو در رسوبات آسفالتین افزایش می یابند.

۹- نسبت ذرات به نسبت اندازه حفره

بنابراین، می توان نتیجه گرفت که تفاوت نسبی بین اندازه ذرات آسفالتین و اندازه حفره های مخزن، یک اندازه گیری مناسب برای تعیین اینکه پارامتر در کنترل رسوب آسفالتین در مدل های متخلخل غالب میشود یا نه مورد بررسی قرار میگیرد. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده میشود اگر اندازه ذرات بزرگتر از اندازه ذرات رسوب شده باشد، در این صورت رسوب سطح عامل مهمی در کاهش نفوذپذیری است. اتصال دهانه های حفره به یکدیگر به شدت بر کاهش نفوذپذیری کمک می کند. این معمولاً در سنگ آهک رخ می دهد. همانطور که اندازه ذرات افزایش می یابد و یا اندازه دهانه حفره ها کاهش می یابد، از یک منطقه عبور می کند؛ در این مرحله اندازه دهانه حفره و اندازه ذرات نزدیک قابل مقایسه است؛ هر دو سطح رسوب و اتصال دهانه های حفره به میزان نفوذپذیری کمک می کنند. این معمولاً در سنگ ماسه اتفاق می افتد. در نهایت، افزایش بیشتر در اندازه ذرات منجر به ایجاد اتصال در دهانه ی حفره ها شده که تبدیل به پارامتر کنترل غالب در کاهش میزان نفوذپذیری می شود. در این مرحله کاهش نفوذپذیری سریعتر و واضح تر است و معمولاً در کربنات رخ می دهد [۲۳]. هیچ اقدام موثری برای بهبودی در منطقه غالب اتصال دهانه حفره ها به هم وجود ندارد. تنها روش پیشگیرانه این است که اجازه ندهید ته نشینی در وهله اول رخ دهد.

۱۰- نتیجه گیری ها

در این مطالعه یک رویکرد جدید برای رسوب آسفالتین در منطقه نزدیک چاه مورد بررسی قرار گرفته است. مدل اختلالات (نقض) میزان نفوذپذیری موجود (تنها مدل وابسته به تخلخل) از طریق کاهش اتصالات از دست رفته به دلیل انسداد حفره ها بهبود یافت. مکانیزم اختلال نفوذپذیری حاکم (که به رسوب سطح یا انسدادحفره به نسبت اندازه ذرات آسفالتین تا توزیع دهانه حفره بستگی دارد):

- کاهش نفوذپذیری در نمونه های سنگ آهک مورد مطالعه در اینجا به دلیل رسوب سطح بوده و اثر انسداد حفره ها ناچیز است. این به دلیل نسبت بزرگی دهانه حفره ها به اندازه ذرات است.
- برای نمونه های سنگ ماسه، هر دو سطح رسوب و مکانیسم میزان اتصالات دهانه حفره تقریباً دارای میزان کاهش نفوذپذیری یکسان هستند.
- برای نمونه های کربنات، انسداد حفره برتر است. بنابراین نمونه های تجربی دارای کاهش نفوذپذیری سریع تری هستند.

منابع

- [1] Sheu, E.Y. (1998), "Physics of asphaltene micelles and microemulsions-theory and experiment", J. Phys.: Condens. Matter 8, A125-A161.
- [2] Rogacheva, O.V., Rimaev, R.N., Gubaidullin V. Z. and Khakimov D. K. (2002), "Investigation of the Surface Activity of the Asphaltenes of Petroleum Residues", Colloid J. USSR, 490.
- [3] Leontaritis K., Mansoori G. (2003), "Asphaltene flocculation during oil production and processing. A thermodynamic-Colloidal Model", Proc SPE Inter. Symp. On Oilfield Chem., San Antonio, Texas, SPE Paper12699, 125-199
- [4] Burke N.E. et al. (2009), "Measurement and modeling of asphaltene precipitation. JPT, Nov., 1220-1222.
- [5] Yang Z., Ma C.-F., Lin X.-S., Yang J.-T. and Guo T.-M. (2000), "Experimental and modeling studies on the asphaltene precipitation in degassed and gas-injected reservoir oils", Fluid Phase Equilibria 194,123-199.
- [6] Alboudwarej, H., Akbarzadeh, K., Beck, J., Svrcek, W.Y., Yarranton, H.W. (2008), "Regular Solution Model for Asphaltene Precipitation from Bitumens and Solvents", AIChE Journal, November. Vol. 25, No. 11.
- [7] Chung F., Sarathi P., Jones R.. (2009), "Modelling of asphaltene and wax precipitation", Topical Report n° NIPER-259, DOE January
- [8] Andersen, S. I., Birdi, K. S. (2011), "Aggregation of asphaltenes as determined by calorimetry", Journal of Colloid and Interface Science 126, 254
- [9] Rassamdana H., Dabir B., Nematy M., Farhani M., Sahimi M., (2011) "Asphalt Flocculation and Deposition I.: The Onset of Precipitation," AIChE Journal, Vol. 26, No. 1, January.
- [10] Hirschberg A., deJong L., Schipper B., Maijer J. (2012), "Influence of Temperature and Pressure on Asphaltene Flocculation", SPE J., June, 693-653

تست و ارزیابی سازه در شرایط چالش برانگیز دهانه چاه در میادین نفتی ایران

فرشاد درخشان^۱، محمد امین آریانا^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲

کد مقاله: ۲۳۶۲۸

چکیده

ارزیابی ستون‌های هیدروکربنی، نوع سیال مخزن، سطوح تماس سیال و شاخص تولید در شرق آسیا بخصوص در مواجهه به مشکلات چاه‌های تکمیل حفرة باز یکی از مباحث چالش برانگیز بوده است. تلاش‌های اولیه فعلی در زمینه اثبات پتانسیل دقایق هیدروکربنی عمدتاً به دلیل هرزروی بالا، اختلاف فشار بالا و یا شرایط بد چاه ناموفق بوده اند. برای ارزیابی توسعه، نیاز به داشتن داده‌های مطمئن و حیاتی است که تهیه این داده‌ها نیاز به یک استراتژی برای ارزیابی سازند دارد. مقصود نهایی علاوه بر تایید حضور سیال هیدروکربنی در ستون سیال، بهینه سازی حفاری با در نظر داشتن مسایل ایمنی و زمان پروژه است. علاوه بر مشکلات هرزروی، مشکل ناپایداری دیواره چاه همراه با شیل تحت فشار اضافی و احتمال حضور H_2S ، که درجه و مقادیر آن باید در محل برای برنامه تکمیل چاه اندازه گیری شود نیز باید در نظر گرفته شود. برای رسیدن به اهداف در نظر گرفته شده برای چنین چاه‌هایی یک روش جایگزین تست سازند و نمونه گیری استفاده شد. ارزیابی سیال مخزن در پایان عملیات جداره گذاری انجام شد. ارزیابی سازند در دو مرحله انجام شد. مرحله اول برای کسب اطمینان از ایزوله بودن سیمان در بازه هیدروکربنی و مرحله دوم با مشبک کاری لوله جداره برای اطمینان از وجود سیال هیدروکربنی بوسیله آنالیز سیال درون چاهی و نمونه گیری ته چاهی انجام شد. این مطالعه موردی مربوط به ارزیابی سنگ و سیال مخزن با استفاده از WFT در یک چاه با لوله جداره می باشد. مخازن مورد نظر با موفقیت ارزیابی شده اند و نمونه های بیانگر مخزن بدون مشکل اجرایی بدست آمد. روش ارزیابی پیشنهادی و بهترین روش مبتنی بر داده های میدان در این مقاله بیان شده اند.

واژگان کلیدی: سنگ و سیال مخزن، دهانه چاه، لوله جداره، فشار سازند، WFT.

۱- گروه مهندسی نفت، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران
۲- گروه مهندسی نفت، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران (نویسنده مسئول)

۱- مقدمه

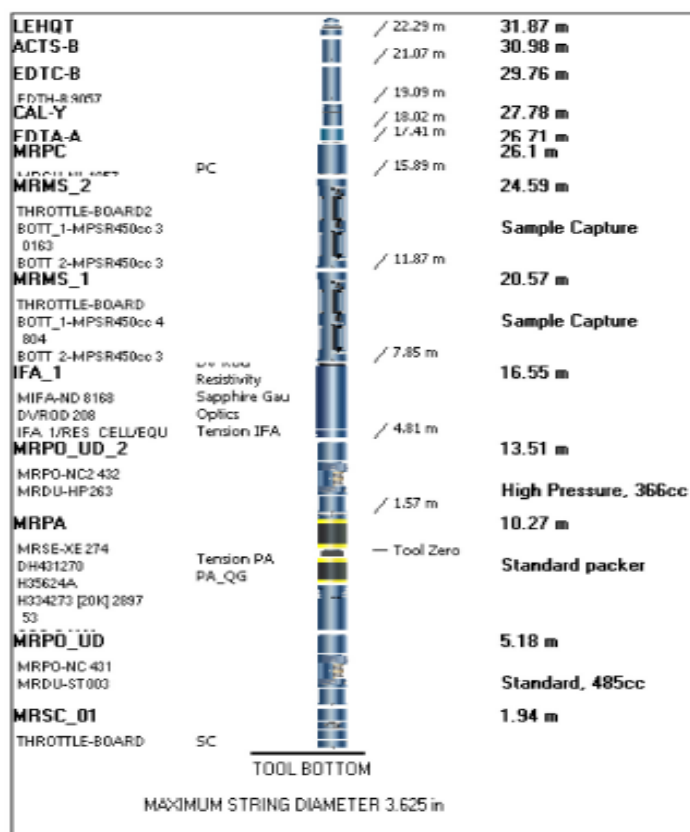
تعیین خصوصیات سیال مخزن در چاه‌های بدون لوله جداری بخصوص در سازند های با تراوایی پایین و کربناته با مشکل همراه است [۱]. بدست آوردن سیال مخزن که بیانگر خصوصیات مخزن باشد یکی از مراحل مهم برای تایید و بررسی نوع سیال و خصوصیات آن است. آنالیز سیال درون چاهی (DFA) علاوه بر اینکه برای تعیین مقدار ذخایر مورد نیاز است، می تواند اطلاعات لازم برای اطمینان اولیه از جنس سیال مخزن را فراهم کند [۲] و همچنین نمونه های تهیه شده برای آنالیز کامل PVT و خصوصیات سیال مخزن در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می گیرد. دو روش اصلی برای نمونه گیری در چاه های با لوله جداری وجود دارد [۳]. نمونه گیری درون چاهی با استفاده از ابزار wireline [۴] و نمونه گیری روی سطح زمین با استفاده از آزمایش ساقه مته DST. با توجه به هدف آزمایش، هر روش نقاط مثبت و منفی خود را دارند. نمونه گیری درون چاه معمولاً در چاه های بدون لوله جداری انجام می شود. اما در بعضی از موارد، شرایط دهانه چاه و خصوصیات سازند مانع انجام لاگ درون چاه بدون جداره می شود. در نتیجه نمونه گیری در صورت تکمیل چاه با لوله جداری امکان پذیر می شود. این مسئله همینطور شامل چاه هایی که قبلاً و به علت موانع اجرایی به چاه با لوله جداری تبدیل شده اند نیز می شود. تست های DST متداول در چاه های با لوله جداری به علت چندین عامل مانند هزینه مخصوصاً اگر چندین لایه مورد تست قرار بگیرند و همینطور مسائل محیط زیستی می تواند شامل محدودیت باشد.

۲- روش شناسی

از جمله اهداف متداول وایر لاین همراه با پکر دو تایی در چاه های با لوله جداری متداول عبارتند از:

- فشار سازند
- ارامتر های مخزن با استفاده از تفسیر تست فشار بازه گذرا (مانند تراوایی افقی، ناهمسانگردی سازند، ضریب پوسته^۲، حجم ذخیره چاه^۳ و شعاع نفوذ^۴)
- نوع و ترکیبات سیال
- نمونه گیری بیانگر سیال مخزن

برای رسیدن با اهداف بالا ابتدا باید ناحیه مورد نظر را مشبک کاری نمود و سپس با راندن ابزار WFT^۵ با پکر دوتایی به درون چاه و استفاده از پکر ها برای ایزوله کردن ناحیه مورد علاقه از بقیه نواحی تست را آغاز کرد. با استفاده از مازول پمپ درون خطی ابزار، سیال را از ناحیه مورد نظر به درون چاه انتقال داده می شود تا افت فشار مورد نظر برای تولید از سازند فراهم شود. شناساگر سیال برای مشخص کردن نوع و ترکیبات سیال استفاده می شود.



شکل (۱): ابزار WFT با پکر دوتایی متداول که در ارزیابی چاه های با لوله جداری [۱].

1- anisotropy
2- Skin factor
3- Wellbore storage
4- Radius of Investigation
5- Wireline formation test

بعد از اطمینان از اینکه سیال درون ناحیه مورد نظر کاملاً سیال مخزن است و با سیال درون چاه مخلوط نشده است پمپ سیال سازند را به محفظه‌هایی که توسط ماژول جایگاه نمونه چنتایی^۱ نگه داشته شده است منحرف می‌کند.

قبل از انجام آزمایش، می‌توان چند پارامتر را در نظر گرفت. اول اینکه اتصال مناسب سیمان بین لوله جداری و سازند برای موفقیت آمیز بودن آزمایش به دلیل اطمینان از ایزوله بودن لایه‌های متفاوت مشبک کاری شده نسبت به هم الزامی است. برای اطمینان از این اتصال، لاگ اولتراسونیک Imager-Cement Bond قبل از انجام WFT برای ارزیابی کیفیت سیمان انجام می‌شود [۱].

اگر ایزوله کردن ناحیه‌ای موفقیت آمیز بود ناحیه مورد نظر به منظور ایجاد ارتباط بین سازند و چاه مشبک کاری می‌شود. مشبک کاری از آنجاییکه به ندرت دارای بازه بزرگتر از یک فوت است معمولاً توسط وایرلاین و به منظور صرفه جویی در وقت انجام می‌شود. با توجه به کیفیت سیمان و هدف لاگ طراحی برنامه اجرایی می‌تواند به یکی از دو صورت زیر باشد:

(۱) مشبک کاری تمامی نواحی مورد نظر و راندن یک باره WFT (در مجموع ۲ بار رانده می‌شود)

(۲) مشبک کاری و سپس انجام WFT برای هر ناحیه (برای هر ناحیه دو بار رانده می‌شود)

مزیت روش اول بطور واضح صرفه جویی زمانی است. اما تهاجم سیال به درون سازند به محض مشبک کاری اتفاق می‌افتد در نتیجه مشبک کاری هر ناحیه و انجام WFT اثر تهاجم را کم می‌کند. مشکلی که تهاجم ایجاد می‌کند افزایش زمان مورد نیاز برای تمیز شدن هر ناحیه است. استفاده از گل با کمینه فشار فوق تعادلی به جای استفاده از سیال تکمیل چاه (آب نمک^۲) می‌تواند باعث کاهش این مشکل شود به علت اینکه گل قابلیت تشکیل کیک گل را دارد و در نتیجه از تهاجم بیشتر گل حفاری به درون سازند ممانعت می‌کند. استفاده از یک مته و خراشنده برای بریدن برآمدگی‌های سوراخ‌ها بعد از مشبک کاری کردن و قبل از راندن WFT توصیه می‌شود. با این کار پکرهای ابزار توسط برآمدگی‌های تیز ایجاد شده توسط مرحله مشبک کاری صدمه نمی‌بینند. کنترل عمق در این عملیات بسیار مهم است علی‌الخصوص برای چاه‌های انحرافی به علت اینکه هدف باز کردن پکرهای ابزار WFT در عمق مناسب و ناحیه مورد نظر است. فعال کردن پکرها در عمق اشتباه منجر به عایق شدن نامناسب بازه مورد نظر تست و یا حتی صدمه به پکر می‌شود. برای این منظور اضافه کردن یک حسگر (CCL) به رشته ابزار می‌تواند در نظر گرفته شود. راه دیگر نیز استفاده از علائم رادیواکتیوی بر روی مواد انفجاری مورد استفاده در مشبک کاری به منظور علامت گذاری ناحیه‌های مورد نظر است.

۳- مطالعه میدانی

با استفاده از روش ذکر شده دو مخزن واقع در شرق آسیا با راندن ابزار در چاه با لوله جداری ارزیابی شدند. این مقاله خلاصه ارزیابی را بیان می‌کند. چاه‌ها با Well-A و Well-B نام گذاری شده‌اند:

۳-۱- مورد اول: Well A

Well A یک چاه اکتشافی خشکی واقع در بلوک X که در جنوب غربی دلتای بارام^۳ در ساراوک^۴ مالزی قرار دارد. این چاه بصورت انحرافی و به منظور رسیدن به مخزن گازی پرفشار و با دمای بالا کرناته جوانتر و پیرتر حفاری شده است. انتظار غلظت بالا کربن دی اکسید و عدم حضور هیدروژن سولفید می‌رود. یک برنامه گسترده از راندن لاگ‌های wireline برای بدست آوردن اطلاعات بیشتر از خواص مخزن در دست اجرا است.

قسمت بالای ناحیه انتقال سنگ کرناته جوان تر با لوله جداری ۸/۵ اینچی مشبک کاری شده است (سوراخ‌های مشبک کاری در)، قسمت متشکل از سنگ آهک^۵ تا عمق بیشتری نفوذ کرده است. لیتولوژی غالب سنگ مخزن سنگ آهک و بطور مشخص با توجه به تعاریف زمین شناسی mudstone را شامل می‌شود. تخلخل و نفت دیده نشد اما درصد کل خوانده شده برای گاز بین ۲/۱ و ۶/۷ درصد در مقایسه به عدد خوانده شده برای گاز در محیط عادی برابر با ۴۵ تا ۹ درصد مشاهده شد. سنگ آهک لایه کرناته جوان تر بسیار فشرده با تخلخل تقریباً^۳ درصد که از لاگ کامل حین حفاری^۶ بدست آمده است. لاگ‌های تصویری نشان می‌دهند که سازند بر اثر حفاری و همینطور دلایل طبیعی شکاف دار بدون داشتن ماتریکس متخلخل است. با تکیه بر نتایج زمین شناسی و حفاری تصمیم بر انجام آزمایش ساقه مته در مخزن کرناته جوان تر به منظور بدست آوردن بیشترین دریافت گاز از شکاف گرفته شد.

1- multi sample receptacle module

2- brine

3- Baram Delta

4- Sarawak

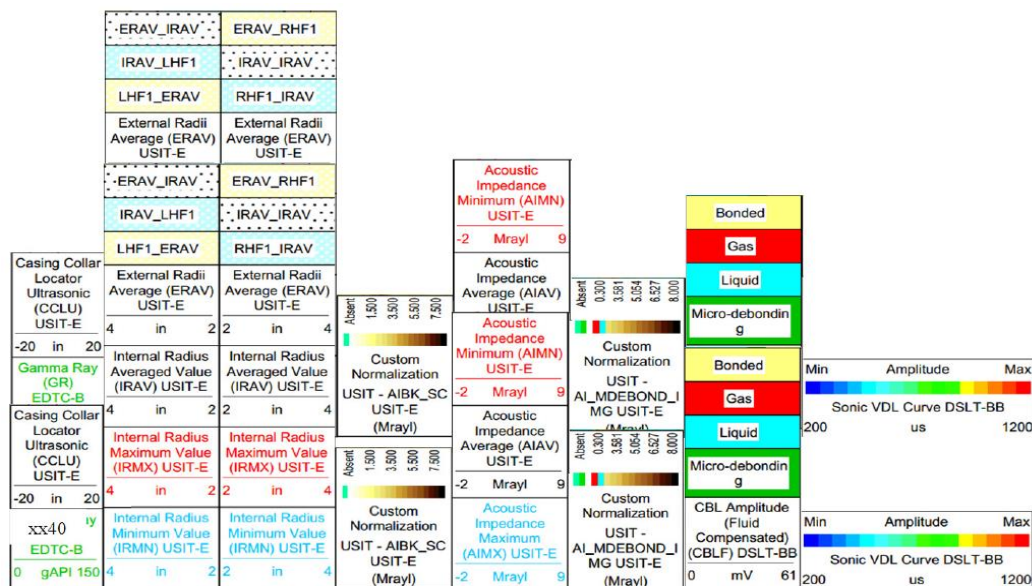
5- limestone

6- Full term (LWD) logs

به علت مواجه با فشار بالای سازند وزن گل حفاری تا ۱۷ ppg در حین حفاری قسمت ۵/۸ اینچی افزایش داده شد. شرایط چاه مناسب راندن ابزار متداول wireline تشخیص داده نشد به همین علت از drill pipe conveyed wireline logging (ابزار wireline که توسط لوله حفاری حمل می شود) استفاده شد. با وجود حمل با لوله حفاری به رشته خسارت جدی بر اثر مقدار نیروی بالابری^۱ زیادی وارد شد و داده قابل استفاده ای بدست نیامد. دستگاه centralizers خراب شد و باعث تلاش در جهت سامان دهی شرایط موجود شد. در چنین شرایطی اطمینان نسبت به موفقیت آمیز بودن عملیات از بین رفت و برنامه های انجام لاگ های بیشتر متوقف شد.

همکار مسئول اجرایی که به عنوان مالک منابع و مدیر نفت و گاز داخلی فعالیت می کرد به ناحیه بالایی (ناحیه انتقال) در جهت از سر گیری فعالیت علاقه نشان داد. ۶ ناحیه سازندی با مقادیر خوانده شده گاز بیشتر تایید شد و مقدار گاز در جا ۷۰۰ bcf تخمین زده شد. اما به این دلیل که ضخامت این نواحی کم بود و همینطور جدا بودن این نواحی از هم انجام یک تست کامل مثل آنچه در مخزن کربناته جوان تر انجام شد از لحاظ هزینه اقتصادی نبود. از این ۶ ناحیه، ۳ ناحیه کلیدی مورد نظر توسط مطالعات پتروفیزیکی انتخاب شد. از آنجاییکه این قسمت از چاه در قرار داد واحد اجرایی نبود (پیمانکار) وارد مذاکره با یک شرکت فراهم کننده تکنولوژی برای امکان سنجی و انجام تست IPTT^۲ در چاه شد. به علاوه شرایط بد چاه اجازه راندن لاگ در این ناحیه را نداد. پیمانکار تمایلی به حفاری یک چاه دیگر برای بررسی این ناحیه از مخزن و تخمین ذخیره را نداشت و تست IPTT در این قسمت از چاه را به عنوان یک پروژه دارای ریسک قبول کرد. نمونه گیری و مقدار فشار و تحرک پذیری^۳ سیال برای تخمین ذخیره مورد نیاز است و حفر نکردن یک چاه دیگر برای بدست آوردن این مقادیر یک صرفه جویی بزرگ برای شرکت به حساب می آمد. با در نظر گرفتن گزارش لاگ و ریسک تصمیم به انجام تست WFT با پک دوتایی در لوله چاه به لوله جداری گرفته شد. همان طور که در قسمت روش شناسی گفته شد عایق بندی سیمان برای مطمئن شدن از عدم ارتباط لایه ها با یکدیگر حیاتی است به همین منظور لاگ USIT-CBL قبل از این که چاه با تراکم سوراخ بالا در سه بازه متفاوت برای پوشش سه ناحیه موردنظر مشبک کاری شود، انجام شد. بعد از مشبک کاری زائده های ناشی از مشبک کاری که ممکن بود برای پکر خطرناک باشد با scraper جدا شد.

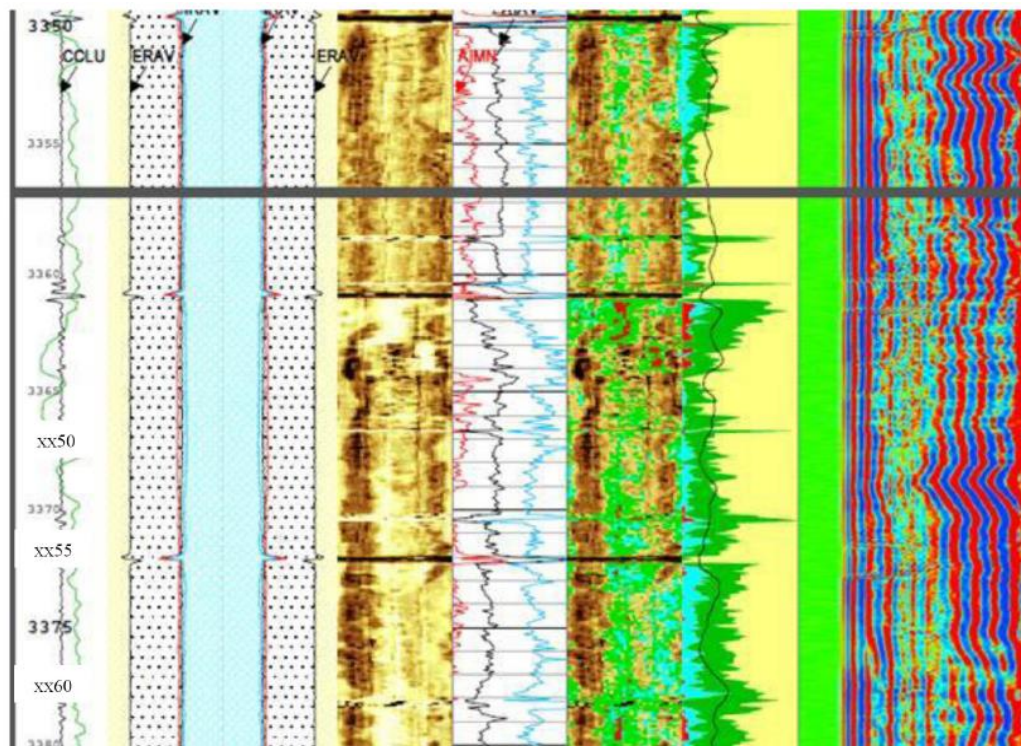
لاگ USIT-CBL از کیفیت مطلوبی برخوردار بود ولی تفاوت هایی بین نتایج USIT و CBL که حاکی از وجود مکان هایی حلقه ای پشت لوله جداری که با سیال پر بود، وجود داشت. وجود این مکان ها در این چاه به علت تفاوت وزن سیال گل حفاری استفاده شده برای سیمان کردن چاه (۱۷ ppg WBM) و سیالی که در حین عملیات لاگ (۱۱/۶ ppg brine) استفاده شد انتظار می رفت. همان طور که در شکل (۲) دیده می شود نواحی حلقوی پشت لوله جداری که از سیال پر هستند قابل مشاهده است. کمترین فضای حلقوی خالی که در USIT قابل مشاهده است ۱۰۰ میکرون است اما مقاومت ظاهری اندازه گیری شده در فاصله های کمتر از این مقدار تحت تاثیر (کاهش می یابند) قرار می گیرند در نتیجه فرض شده که نتایج فضای حلقوی میکرو بهتر از نقشه مقاومت ظاهری است.



شکل (۲): لاگ های USIT-CBM نواحی حلقوی که حاوی سیال [۱].

1- overpull
2- Interval pressure transient test
3- mobility

بازه مورد نظر برای انجام آزمایش MDT در شکل (۳) نشان داده شده است. نقشه مقاومت ظاهری صوتی^۱ (حاصلضرب سرعت در چگالی) بدست آمده از لاگ عایق بندی کیفیت سیمان متوسط تا خوبی را نشان می دهد ولی مانند لاگ های قبلی نواحی میکرو حلقوی مخصوصا در نواحی بالاتر را نشان می دهد. وجود مقدار کمی از گاز هم به این علت که نشان می دهد گاز به دام افتاده و نمی تواند به ناحیه دیگری مهاجرت کند نشانه خوبی برای عایق بندی می باشد.



شکل (۳): USIT-CBL نواحی مورد نظر که با عایق بندی متوسط تا خوب [۱].

با بدست آوردن مقادیر مناسب سیمان WFT از لوله آستری ۷ اینچی رانده شد و در ۴ ناحیه متوقف شد. نتایج در جدول (۱) آورده شده است. در اولین نقطه همان طور که در شکل (۲) نشان داده شد یک افزایش فشار^۲ کوتاه برای بدست آوردن تحرک پذیری در شرایط افت فشار^۳ و مقدار فشار نهایی مربوط به افزایش فشار انجام شد. در این نقطه تحرک پذیری سازند mD/cP ۰/۶۷ بود ولی بعد از پمپ ۶۴ لیتر در ۱۴۴ دقیقه هنوز مقدار قابل توجهی از فیلتریت سیال گل حفاری قابل تمیز کردن و جا به جایی بود. ترکیبات دقیق سیال با استفاده از مازول Insitu Fluid Analyzer [۵] انجام و وجود گاز تایید شد. ترکیبات گاز شامل ۵/۸۷ درصد وزنی متان، ۷۱/۱ درصد اتان، C^{6+} ۳۵/۴ درصد و دی اکسید کربن ۴۴/۶ درصد بود. مقدار GOR با ۳۲۹ و ۲۰۳ ft³/bbl بدست آمد و همینطور که در شکل (۳) دیده می شود سنسور چگالی مقدار ۰/۳۳ گرم بر سی سی را نشان داد. سپس سه نمونه گاز گرفته شد. در نقاط دیگر به علت متراکم بودن سازند نمونه گیری صورت نگرفت.

جدول (۱): خلاصه نتایج ارزیابی لوله جداری Well A [۵].

Probe MD	Probe TVD DF	TVD Subsea	Last BU Pres.	DD Mobility	Mud Pres. Before	Mud Pres. After	Comments	Temp.	Gauge Type
m	m	m	psia	mD/cP	psia	psia	Minor gas indication		
xx70.5	xx77.13	-xx60.85	7979.82	0.1	8195.1	8170.86			Quartz
xx50.5	xx77.13	-xx60.85	8225.37	0.67	8350.6	-	Tight	139.06	Quartz
xx06.25	xx21.61	-xx05.33	8664.93	0.03	8941.48	8899.24	Tight	148.49	Quartz
xx47.01	xx56.19	-xx39.91	9273.91	0.11	9369.96	9313.48	Tight	150.07	Quartz

1- Acoustic impedance
2- Build up
3- drawdown

با استفاده از WFT با پکر دوتایی در تمکیل چاه لوله جداري امکان بررسی بیشتر مخزن نسبت به حالت چاه بدون لوله جداري که مناسب برای انجام لاگ نبود فراهم شد. با وجود اینکه نقاط مورد بررسی عموماً متراکم بودند تهیه سه نمونه گرفته شد و بدست آوردن داده برای بررسی رفتار سیال انجام شد و نتایج قابل قبولی بدست آمد.

۳-۲-۲- مورد دوم: Well B

Well B یک چاه اکتشافی خشکی در بلوک Y واقع در شبه جزیره مالزی است. با توجه به داده های لرزه نگاری^۱ انتظار می رفت که چاه از سه ناحیه گسلی عبور کند و ۸۱۰ متر عمق عمودی^۲ در ناحیه شکاف دار ادامه داشته باشد. حفاری این چاه به دلایل گفته شده و همینطور ارزیابی سازند و به علت کنترل هرز روی سیال پیچیده بود. لاگ متداول چاه حفره باز بدون مشخص کردن نوع هیدروکربن و ضخامت ناحیه هیدروکربنی بی نتیجه بود. برای از بین بردن عدم قطعیت های کلیدی در برنامه های آتی توسعه میدان مشخص کردن نوع سیال هیدروکربنی و اندازه گیری فشار حیاتی هستند.

۳-۲-۱- بدست آوردن نوع سیال سازند و فشار سازند در چاه حفره باز

مسئول اجرایی عملیات متداولی ارزیابی سازند با استفاده از رشته ابزار WFT به منظور بدست آوردن جنس سیال سازند با استفاده از Live Fluid Analyser (LFA) و فشار سازند و گرفتن نمونه که بیانگر سیال مخزن برای تست های آزمایشگاه PVT باشد را انجام داد.

WFT برای ارزیابی قسمت هایی از Well B برای بدست آوردن اهداف زیر انجام شد:

۱- تست پتانسیل هیدروکربن در گروه های شنی K/L و M

۲- تست پتانسیل هیدروکربن در ناحیه شکاف دار ماقبل ترشیاری

رشته WFT مشتمل بر دو سنسور^۳ MRPS نصب شده به همراه E-probe و MRPQ نصب شده همراه XLD-4probe و LFA برای DFA و دو محفظه نمونه گیری چند گانه (MRMS) است. به علت شرایط بد چاه ابزار در نقطه ۱۴ و در راندن اول وایرلاین متوقف شد و سپس آزاد شد. مسئول اجرایی تصمیم به کشیدن ابزار به بیرون از چاه ۵ به منظور انجام عملیات بهبود شرایط چاه گرفت و سپس اقدام به انجام لاگ در شرایط سخت^۶ برای اتمام ارزیابی سازند کرد.

در بیش از ۳۵ نقطه که در ۱۰ نقطه از آن ها به منظور مشخصی شدن سیال و نمونه گیری پمپ به کار افتاد داده گیری انجام شد. اندازه گیری های فشار حاکی از فشار بالای سازند در قسمت پایینی Well B و فشار نسبتاً پایین در در قسمت بالایی داشت. این مطلب اختلاف فشار بالایی از بالا تا پایین مخزن را ایجاد می کند و شرایط را برای کنترل چاه به علت اینکه شرایط تعادلی گل باعث اختلاف فشار فقط ۲۰۰ psi بین گل (گل پایه نفتی سینتتیک با وزن ۵/۱۳ ppg) و فشار هیدروکربنی در پایین چاه می شد سخت کرده بود. در نقطه مقابل قسمت بالایی چاه تحت فشار تعادلی اضافی زیاد ۲۱۰۰ psi بود. این مطلب کنترل چاه را در حین راندن و انجام WFT سخت کرده بود. در نتیجه برنامه لاگ WFT با حذف تعدادی از نقاط کوتاه شد.

۳-۲-۲- بدست آوردن نوع سیال سازند و فشار سازند در چاه با حفره جداري (۹۸/۵ اینچ)

آزمایش وایرلاین سازند در چاه حفره باز ۲۵/۱۲ اینچی بدون بررسی بعضی از قسمت های مورد نظر انجام شد. تصمیم کامل کردن ارزیابی چاه در همه قسمت بعد از گذاشتن لوله جداري گرفته شد. برای ارزیابی پتانسیل هیدروکربن در ناحیه که در لاگ WFT چاه حفره باز انجام نشد یک استراتژی جایگزین برای تست سازند و نمونه گیری عملی شد. تصمیم به انجام تست با WFT همراه به پکر دو تایی گرفته شد. در چاه با لوله جداري ایجاد ارتباط با سازند از طریق مشبک کاری در ناحیه کوچکی از لوله جداري معادل ۳ متر و در ۵ ناحیه مورد نظر انجام شد. رشته WFT به همراه پکر دوتایی در چاه لوله جداري ۹/۶۲۵ اینچی رانده شد. ابزار همچنین ماژول های IFA برای DFA و ۲ عدد MRMS با ۱۲ محفظه MPSR را همراه داشت.

در کل ۵ نقطه MDT با به کار گیری پکر ها انجام شد که از ۳ نقطه نمونه گیری صورت گرفت، در یکی تلاش برای پمپ کردن سیال بوسیله IFA انجام شد و یک نقطه پیش آزمایش بود. آنالیز سیال بوسیله IFA Insitu Fluid Analyzer حاکی از وجود گاز و آب در نواحی مورد نظر را داشت (جدول (۳)).

1- Seismic

2- TVD

3- probe

4 Extra Large Diameter Probe

5- Pull out of hole (POOH)

6- Tough logging condition (TLC)

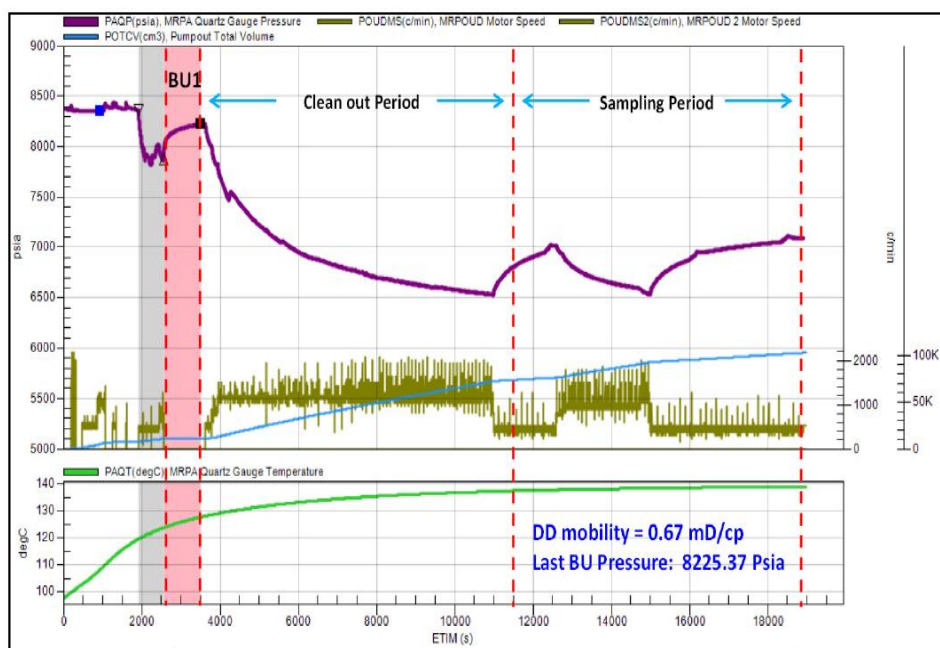
جدول (۲): خلاصه نتایج ارزیابی سازند چاه B با لوله جداری.

Run	MD (m)	TVD (m)	Type	Bottle Module	Bottle Serial No.	Bottle Type	Bottle Volume (cm3)	Closing Pressure (psia)	Formation Pressure (psia)	Flowline Temperature (degC)	Pump Time (min)	Pump Volume (cm3)	Remarks
TLC	XX38.9	XX38.37							3346.48	126.14	37.98	9380.27	Water
TLC	XX62.79	XX62.25	Sampling	MS_2 B1	1477	MPSR 450 cc	450	7726.87	3339.14	126.91	51.43	10816.68	Gas and oil slugs
WL	XX66.71	XX66.17	Sampling	MS_3 B3	134	SPMC 250 cc	250	7728.95	3345.67	130.72	45.49	10495.12	Oil
TLC	XX67.2	XX66.65							3346.56	128.77	33.75	11955.05	Oil
TLC	XX99.98	XX99.38	Sampling	MS_2 B2	1755	MPSR 450 cc	450	7764.90	3376.90	130.42	64.64	15813.27	Water
WL	XX63.5	XX62.31	Sampling	MS_3 B5	118	SPMC 250 cc	250	7878.12	3471.01	135.14	42.41	14494.75	Oil
WL	XX63.5	XX62.31	Sampling	MS_2 B3	4799	MPSR 450 cc	450	7877.90	3471.01	135.12	31.09	13067.21	Oil
WL	XX94.77	XX89.26	Sampling	MS_2 B2	4466	MPSR 450 cc	450	7984.66	3627.03	137.65	58.35	17345.73	Water
WL	XX30.31	XX22.55	Sampling	MS_3 B1	837	SPMC 250 cc	250	8115.70	3740.46	137.46	58.28	11412.76	Oil and gas slugs
WL	XX30.31	XX22.55	Sampling	MS_2 B1	3752	MPSR 450 cc	450	8090.07	3740.46	137.52	64.99	12573.36	Oil and gas slugs
WL	XX43.02	XX34.35							3753.46	137.89	44.8	8539.46	Water
WL	XX41.7	XX03.75	Sampling	MS_3 B4	5069	MPSR 450 cc	450	10610.20	6251.07	141.9	45.09	24257.01	Gas
WL	XX41.7	XX03.75	Sampling	MS_3 B6	119	SPMC 250 cc	250	10540.23	6251.07	141.93	55.79	27327.2	Gas

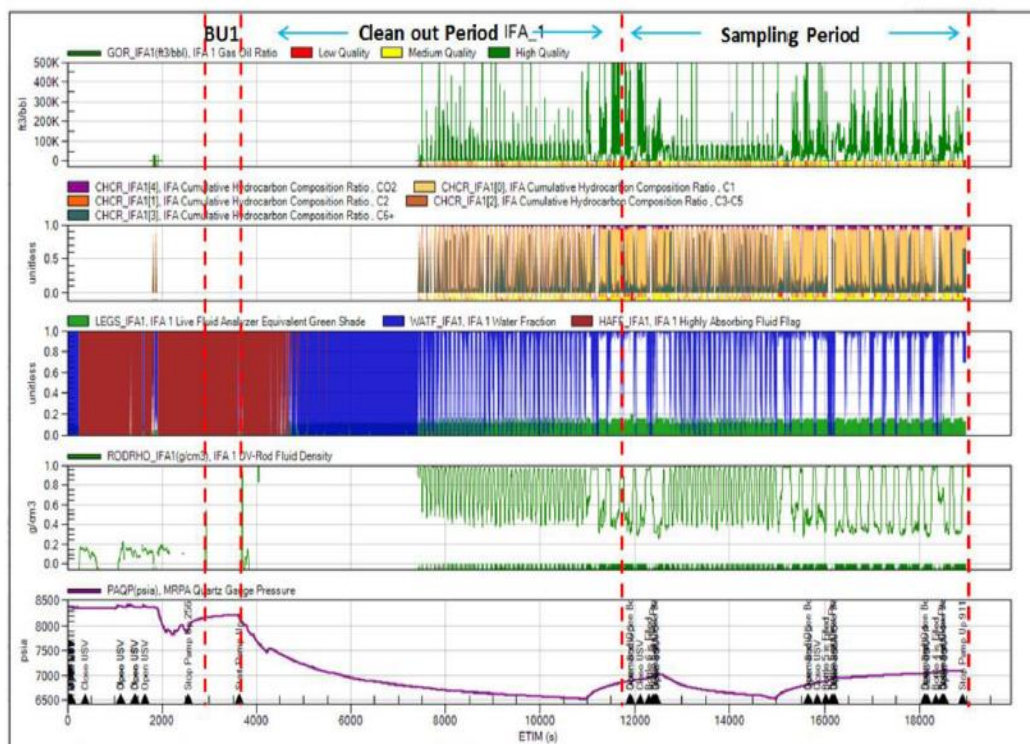
جدول (۳): خلاصه نتایج نقاط بررسی شده با WFT به همراه پکر دوتایی در چاه B با لوله جداری.

File #	Perforation Depth Intervals	Dual Packer Interval Depth	Dual Packer Depth	Last BU Pressure	Mobility	Samples	Remarks
	m MDDF	m MDDF	m MDDF	Psia	mD/cp		
2	XX29.9-XX30.2	XX29.55 - XX30.55	2630.18	3733.69	0.46	2 MPSR	Sampling - Gas
3	XX15.7-XX16.0	XX15.35 - XX16.35	2415.98	3415.76	1.51	2 MPSR	Sampling - Gas
4	XX38.9-XX39.2	XX38.55 - XX39.55	2439.18	3443.8	0.16	1 MPSR	Sampling - Water
1	XX29.0-XX29.3	XX28.65 - XX29.65	2329.28	3403.75	0.06	-	PO Attempt - WBM filtrate
2	XX39.0-XX39.3	XX38.65 - XX39.65	2639.15	3737.7	0.03	-	Tight/Station Aborted

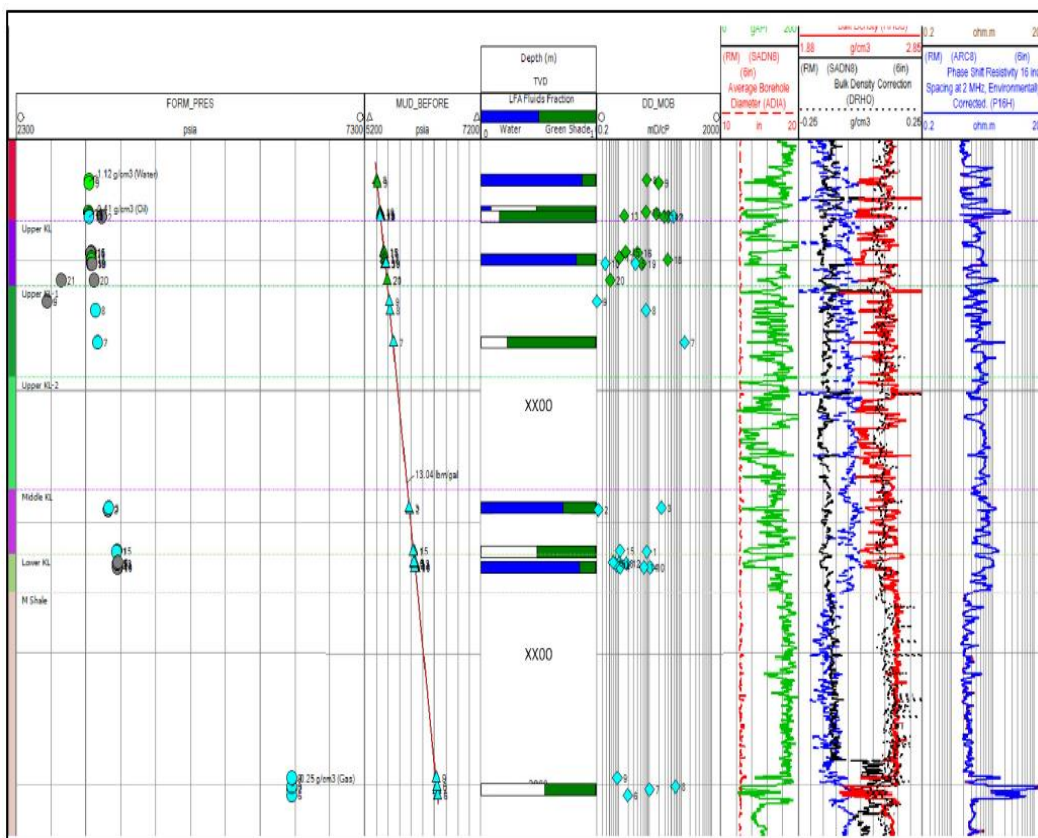
استفاده از WFT به همراه پکر دو تایی این امکان را به ما داد که پتانسیل هیدروکربن در ناحیه های تست نشده و همینطور نمونه گیری در نواحی با تراوایی پایین را انجام دهیم.



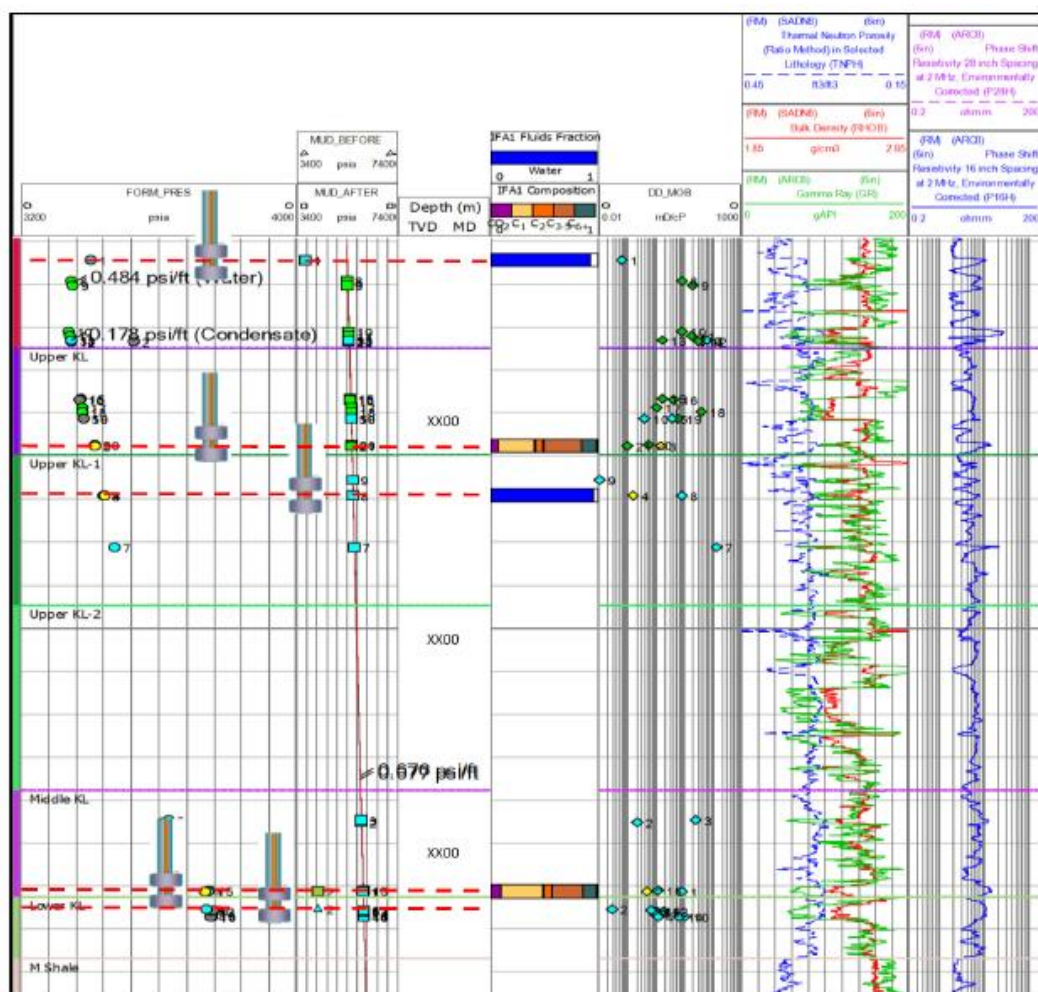
شکل (۴): فشار بر حسب زمان برای اولین نقطه تست WFT در Well A



شکل (۵): توامان IFA اطلاعات گسترده ای از سیال سازند Well A می دهد. از بالا نمودار GOR، ترکیب، نسبت، چگالی، فشار جریان



شکل (۶): پروفایل فشار در Well B حفره باز ۱۲/۲۵ اینچی



شکل (۷): پروفایل فشار در Well B با لوله جداری ۹/۶۲۵ اینچی

۳- نتیجه گیری

در صورت عدم امکان تعیین خصوصیات سنگ و سیال مخزن در چاه بدون لوله جداری، با گذاشتن لوله جداری میسر خواهد بود. برنامه ریزی دقیق اجرایی و اجرای دقیق بهترین روش های ذکر شده امکان داده گیری بدون خطا را فراهم می کند. دو عملیات موفق در مخازن شرق آسیا بصورت موردی بیان شد. آزمایش وایرلاین سازند در چاه حفرة باز ۲۵/۱۲ اینچی بدون بررسی بعضی از قسمت های مورد نظر انجام شد. تصمیم کامل کردن ارزیابی چاه در همه قسمت بعد از گذاشتن لوله جداری گرفته شد. برای ارزیابی پتانسیل هیدروکربن در ناحیه که در لاگ WFT چاه حفرة باز انجام نشد یک استراتژی جایگزین برای تست سازند و نمونه گیری عملی شد. تصمیم به انجام تست با WFT همراه به پکر دو تایی گرفته شد. در چاه با لوله جداری ایجاد ارتباط با سازند از طریق مشبک کاری در ناحیه کوچکی از لوله جداری معادل ۳ متر و در ۵ ناحیه مورد نظر انجام شد. رشته WFT به همراه پکر دوتایی در چاه لوله جداری ۹/۶۲۵ اینچی رانده شد. ابزار همچنین مازول های IFA برای DFA و ۲ عدد MRMS با ۱۲ محفظه MPSR را همراه داشت.

- [1] C. Mas, L. Yaxley, Tately NV, M. Ardila, C. Ayan, V. Indrayanti Tanuwidjaja, Schlumberger: _An integrated case study of improve oil pay evaluation in shaly, laminated, low mobility reservoirs using wireline cased hole dual packer and production test_ Paper SPE 152238 presented at SPE Latin American and Caribbean PE Conference, Mexico City, 16-18 April 2016.
- [2] A. Khoukhi, S. Albukhitan, Int. J. Oil Gas Coal Technol. 4 (2017) 47–63.
- [3] K. Indo, K. Hsu, J. Pop, Schlumberger: _Estimation of Fluid Composition from Downhole Optical Spectrometry_ Paper SPE 166464 presented at SPE/ATCE at New Orleans, Louisiana, USA 30 September-2 October 2013.
- [4] Schlumberger, _Fundamentals of Formation Testing_ Book published 2006.
- [5] Dong, C. et al.: _New Downhole Fluid Analyzer Tool for Improved Reservoir Characterization,_Paper SPE 108566 presented at Offshore Europe 2007 held in Aberdeen, Scotland, U.K., 4–7September.

مطالعه و بررسی کاربردهای فرایند الکتروریزپوشانی در صنایع غذایی

علی عزیزی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۴

کد مقاله: ۴۵۵۷۵

چکیده

ریزپوشانی نوعی تکنولوژی برای به دام انداختن ترکیبات غذایی، آنزیمی در غشایی از جنس مواد غذایی مجاز درون کپسول‌های کوچک می باشد که محتویات خود را تحت سرعت کنترل شده با یک تحریک خاص و در یک زمان مشخص رها می سازد. این تکنولوژی به علت کاهش سرعت تبخیر و انتقال مواد هسته به محیط خارج، حفظ طعم و مزه هسته در صنعت غذا استفاده می شود و اکسیداسیون مواد در مدت تولید و نگهداری، ایجاد بو و طعم نامطلوب جلوگیری کرده و مانع از دست رفتن ارزش تغذیه‌ای و متابولیکی آن می‌شود. در فرایند الکتروریزپوشانی از نیروهای الکترواستاتیکی جهت ایجاد جت‌های باردار الکتریکی از محلول‌های پلیمری حاوی ترکیبات زیست فعال استفاده می‌شود که پس از تبخیر حلال، ساختارهای فوق‌العاده نازک و کوچکی تولید می‌گردد که در صورت اتمایز شدن قطرات در میدان الکتریکی و تشکیل کپسول، این فرایند الکتروپاشش و در صورت تشکیل نانوالیاف و تشکیل جت پایدار این فرایند الکتروریزی نامیده می‌شود. نانوالیاف دارای ویژگی‌های برجسته‌ای مانند نسبت بالای سطح به حجم، اندازه منافذ کوچک با تخلخل زیاد می‌باشد. این ویژگی‌ها باعث شده است که از نانوالیاف برای دارو رسانی، فیلتراسیون، مهندسی بافت، ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال یا غذا-داروها، تثبیت آنزیم، طراحی سنسورهای هوشمند و بسته بندی مواد غذایی استفاده گردد.

واژگان کلیدی: الکتروریزپوشانی، کپسول، الکترواستاتیکی، نانوالیاف، صنایع غذایی

ریزپوشانی را می‌توان به صورت فرآیند پوشاندن یک ماده درون ماده دیگر و در نتیجه تولید ذراتی با قطر چند نانومتر تا چند میلی‌متر تعریف نمود. ماده‌ای که ریزپوشانی می‌شود را می‌توان هسته مرکزی، جزء فعال، پرکننده، فاز داخلی، یا فاز محموله نامید. ماده پوشاننده را روکش، غشاء، پوسته، حامل، دیواره، فاز خارجی یا ماتریس می‌نامند. ماده حامل که در محصولات یا فرآیندهای غذایی استفاده می‌شود باید درجه خوراکی داشته باشد و بتواند حصار برای ماده فعال و پیرامون آن به وجود آورد. این روش کاربردهای مفید بسیاری در صنایع غذایی دارد، زیرا می‌تواند مواد ریزپوشانی شده را در برابر شرایط بد و احتمالاً مخرب حفاظت کند. همچنین از این روش برای پوشش بو و طعم بخش فعال که ممکن است خواص ارگانولپتیک محصولات غنی شده را تحت تأثیر قرار دهد، استفاده می‌شود [۱]. علاوه بر اثرات حفاظتی ریزپوشانی روی ترکیبات غذایی، می‌توان از آنها برای بهبود خواص سیالیت، انتقال و جا به جایی مواد استفاده نمود، زیرا این مواد به جای مایع بودن به فرم جامد هستند. دو نوع اصلی کپسول‌ها را می‌توان تعریف نمود؛ نوع مخزنی و نوع ماتریسی. نوع مخزنی، پوسته‌ای در اطراف ماده فعال دارد. این نوع همچنین با نام‌های کپسول، تک هسته یا هسته-پوسته^۱ شناخته می‌شود. اعمال فشار می‌تواند به شکست کپسول‌های نوع مخزنی و در نتیجه آزادسازی محتوای آنها منجر شود. ماده فعال در نوع ماتریسی توزیع بسیار بیشتری در سراسر ماده حامل دارد؛ این پراکنش می‌تواند به صورت ریزقطراتی نسبتاً کوچک یا به شکلی یکنواخت‌تر در تمام کپسول باشد. همچنین برخلاف آنچه در نوع مخزنی است، در کپسول‌های نوع ماتریسی مواد فعال عموماً در سطح نیز وجود دارند. اما کپسول‌ها ممکن است استوانه‌ای، بیضوی، یا دارای شکل نامنظم نیز باشند. همچنین کپسول‌ها را می‌توان بر اساس اندازه ذراتشان تعریف نمود، به عنوان مثال نانوذرات، ریزکپسول‌ها، ریزمخزن‌ها و غیره. در تکنولوژی ریزپوشانی، مواد پوشاننده یا مواد دیواره‌ای، ممکن است از جنس قندها، صمغ‌ها، پروتئین‌ها و لیپیدها باشند [۲]. با توجه به حساسیت ترکیبات زیست فعال، روش‌های مختلفی شامل خشک کردن پاششی، خشک کردن انجمادی، سرد کردن پاششی و خنک کردن پاششی، به دام انداختن در ساختارهای لیپوزومی، نیوزومی و فیتوزومی، توده‌سازی و اکستروژن وجود دارد که هر یک از روش‌های اشاره شده علاوه بر مزایا، دارای یک سری معایب نیز می‌باشند. از جمله این معایب می‌توان به استفاده از درجه حرارت‌های بالا به ویژه در خشک‌کن پاششی، ایجاد خلل و فرج روی سطح ذرات تولیدی، مصرف زیاد انرژی، محدودیت در تولید ذرات با قطر مشابه، راندمان پایین ریزپوشانی، عدم تبخیر کامل حلال مورد استفاده یا استفاده از حلال‌های سمی در حین فرایند، پیچیده بودن فرایند و هزینه تولید بالا اشاره نمود. لذا طی سال‌های اخیر، فرایند الکتروریزپوشانی یا انجام عملیات ریزپوشانی با استفاده از فرایندهای الکتروهیدرودینامیک^۲ (الکتروپاشش^۳-الکتروریسی^۴) به عنوان روشی ساده، آسان و مؤثر جهت حفظ و افزایش زیست دسترسی ترکیبات موثره توانسته از جایگاه ویژه‌ای بین محققین صنایع غذایی و دارویی برخوردار گردد [۳]. فرایندهای الکتروهیدرودینامیک روشی برای تولید جریان یا قطرات سیال با اعمال اختلاف پتانسیل الکتریکی قوی است که پس از تبخیر حلال، ساختارهای فوق‌العاده نازک و کوچکی تولید می‌گردد که در صورت اتمایز شدن قطرات در میدان الکتریکی و تشکیل کپسول، این فرایند به علت ماهیت غیر مستمر آن الکتروپاشش و در صورت تشکیل نانو الیاف و تشکیل جت پایدار این فرایند الکتروریسی نامیده می‌شود [۴]. از مزایای روش الکتروریزپوشانی می‌توان به ریزپوشانی با کارایی بالا، رهایش ثابت و پایدار مواد ریزپوشانی شده، حذف نیروهای برشی، تک مرحله‌ای بودن فرایند و از همه مهم‌تر قابلیت انجام فرایند در دما و فشار محیط (فرایند سرد) و در نتیجه حفاظت بیشتر مواد زیستی و بیوپلیمرها از تخریب‌های فیزیکی و شیمیایی اشاره نمود [۵]. نانوالیاف دارای ویژگی‌های برجسته‌ای مانند نسبت بالای سطح به حجم، اندازه منافذ کوچک با تخلخل بسیار زیاد می‌باشد. در طی سالیان اخیر، محققین نشان داده‌اند که مواد فعال زیستی ریزپوشانی شده در فیبرهای پلیمری در مقایسه با سایر روش‌ها، ثبات و عملکرد بهتر و بیشتری را دارا می‌باشند و در نتیجه باید به اهمیت و کارایی ویژه نانوالیاف در علوم و صنایع غذایی تأکید بیشتری گردد [۵]. الیاف یا رشته‌های پلیمری را می‌توان با روش‌های متفاوت دیگری مانند خودآرایی^۵، جدایش فازی^۶ و قالب سنتزی^۷ تولید کرد.

1 Core- Shell

2 Electrohydrodynamic atomization

3 Electropray

4 Electrospinning

5 Self-Assembly

6 Phase separation

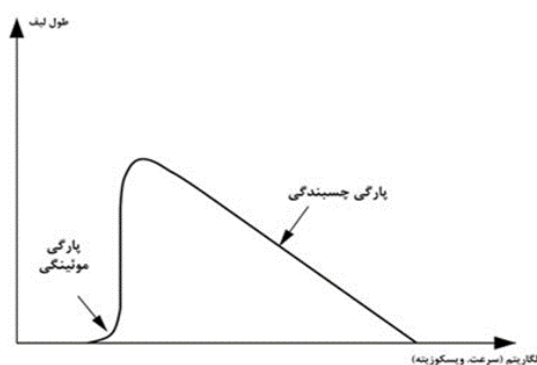
7 Template synthesis

۲- روش تحقیق

۲-۱- روش‌های مختلف تولید نانوالیاف

روش‌های متعددی برای تولید الیاف وجود دارد، ولی روش‌هایی که می‌توانند منجر به تولید الیاف با قطرهای نانومتری یا نانوالیاف شوند عبارتند از کشش، تولید از قالب، جدایش فازی، خودآرایی و الکتروریسی [۶].

(۱) کشش: این روش قادر است الیافی با طول زیاد و قطر چند نانومتری تولید کند. هر نانولیف از یک میکروپیپت در حین تبخیر حلال و در لحظه شروع انجماد کشیده می‌شود. این الیاف می‌توانند طولی در حدود چند صد میکرومتر و قابلیت دستکاری با میکروسکوپ نیروی اتمی را داشته باشند. این روش همواره با انجماد همراه است، که مواد رسیده شده را به الیاف جامد تبدیل می‌کند. مرحله انجماد در مورد ذوب رسی با سرد کردن و در خشک رسی با تبخیر حلال صورت می‌پذیرد. این فرایندهای پیچیده، قطر الیاف تولیدی را به نرخ کشش، نرخ سرد کردن یا تبخیر و ترکیب دقیق ماده اولیه وابسته می‌سازد. فرایندهای استاندارد کشش تاکنون نتوانسته اند الیافی با قطر کمتر از ۲۰۰ نانومتر تولید کنند، زیرا موادی پیدا نشده اند که بتوانند به قله منحنی شکل (۱) برسند.



شکل (۱): نمایش شماتیک طول بیشینه لیف به عنوان تابعی از محصول سرعت کشش با ویسکوزیته ماده اولیه [۷].

برای رسیدن به الیاف با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر نیاز به استفاده از مولکول‌های کوتاه به جای زنجیره‌های بلند پلیمری است. همچنین کشیدن الیاف در هنگام تبخیر حلال در دمای اتاق خواص ماده اولیه را بهبود می‌بخشد و اجازه رسیدن به ویسکوزیته بهینه برای کشش الیاف را می‌دهد (قله شکل (۱)). روش کشش نیازمند موادی با رفتار ویسکوالاستیسیته (خصوصیتی از ماده که نشان دهنده ویسکوزیته و الاستیسیته ماده در حال تغییر شکل است) برای تحمل تغییر شکل بالا است درحالی‌که چسبندگی کافی برای مقاومت در برابر فشار وارده در طول عملیات کشش را داشته باشند [۷].

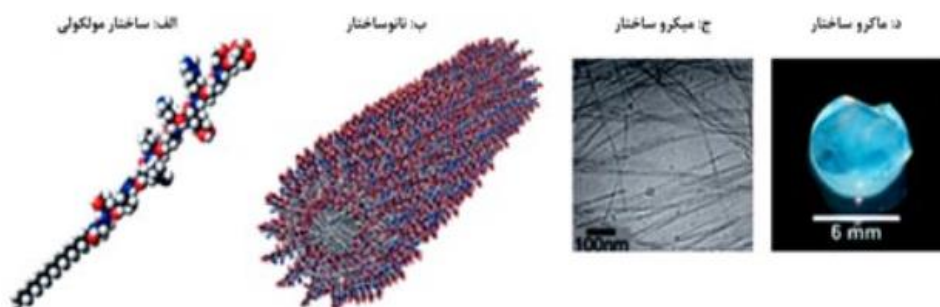
(۲) تولید از قالب: در این روش اکستروژن محلول ماده اولیه در محلول در حال انجماد، تحت فشار موجب تولید نانوالیاف می‌شود. قالب‌های مورد استفاده در این روش، مواد متخلخل مانند اکسید فلزات آندایز شده هستند که حفرات موازی دارند. بسته به اندازه تخلخل قالب، می‌توان نانوالیافی با قطرهای متفاوت و چگالی‌های متفاوت تولید کرد. مراحل تولید نانوالیاف در روش تولید از قالب مطابق ذیل است [۷]:

- (۱) قرار دادن قالب تمیز و خشک درون محفظه بر روی محلول در حال انجماد و ریختن محلول ماده اولیه روی قالب.
 - (۲) اکستروژن محلول ماده اولیه درون محلول در حال انجماد تحت فشار آب روی محلول (حدود ۰/۱ مگاپاسکال)، بنابراین نانوالیاف درون محلول در حال انجماد تشکیل می‌شوند.
 - (۳) برداشتن نانوالیاف تولید شده و شستن تمام مجموعه با آب یون زدایی شده.
- از مهم‌ترین ویژگی‌های این روش می‌توان به تولید نانوالیاف پلیمرهای هادی، فلزات، نیمه هادی‌ها و کربن اشاره کرد. ولی با استفاده از این روش نمی‌توان نانوالیاف پیوسته تولید کرد [۷].

(۳) جدایش فازی: ماده اولیه پلیمری به همراه حلال، درون ظرفی به نسبت مشخص اضافه شده و محلول تولید می‌شود. سپس محلول تولید شده درون فریزر قرار داده می‌شود تا تبدیل به ژل شود و مدتی در آن دما باقی می‌ماند. به منظور تعویض حلال، ظرف حاوی ژل درون حلال دیگری غوطه‌ور می‌شود. سپس ژل از حلال جدا شده و پس از فیلتر شدن درون فریزر قرار می‌گیرد و در محیط خلاء خشک می‌شود. به طور کلی تولید نانوالیاف با استفاده از این روش به ۵ مرحله تقسیم می‌شود: انحلال، ژله ای شدن، استخراج با استفاده از حلال دیگر، منجمد کردن و خشک کردن که منجر به تولید فوم متخلخل نانو مقیاس می‌شود [۷]. این فرایند نیاز به دوره زمانی زیادی برای انتقال پلیمر جامد به فوم نانومتخلخل دارد [۷].

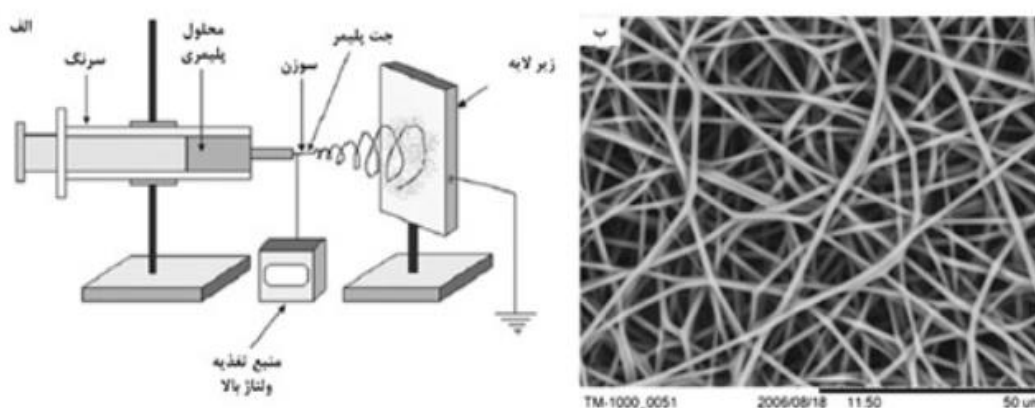
(۴) خودآرایی: به طور متداول خودآرایی نانوالیاف به ساخت الیاف نانومقیاس با استفاده از مولکول‌های کوچک تر به عنوان واحدهای سازنده اولیه اطلاق می‌شود. شکل (۲) به صورت شماتیک روش خودآرایی برای تولید نانوالیاف را نشان می‌دهد. یک مولکول کوچک به طور هم مرکز قرار می‌گیرد و با مولکول‌های دیگر به طور هم مرکز پیوند برقرار می‌کند. پیشرفت فرایند در صفحه عمود، محور طولی نانولیف را تشکیل می‌دهد. سازوکار اصلی برای روش خودآرایی، نیروهای بین مولکولی است، که

واحدهای کوچک تر را کنار هم جمع می کند و مشخص کننده شکل مولکول های بزرگ نانولیف است [۸]. این روش نیز مانند روش جدایش فازی، برای تولید نانوالیاف پیوسته، روشی وقت گیر است.



شکل (۲): شماتیک (الف) ساختار مولکولی، (ب) نانوساختار، (ج) تصویر میکروساختار و (د) تصویر ماکروساختار شبکه نانوالیاف پتید خودآرایی شده [۷].

۵) الکتروریسی: الکتروریسی روشی با نیروی محرکه الکترواستاتیکی برای تولید نانوالیاف است. نانوالیاف از محلول مایع یا مذاب پلیمری که از لوله موئین به منطقه با میدان الکتریکی بالا تغذیه می شود، تشکیل می شوند. زمانی که نیروهای الکترواستاتیکی بر تنش سطحی مایع غلبه می کنند، یک مخروط تیلور تشکیل می شود و یک جت باریک به سرعت به سمت هدف (جمع کننده) متصل به زمین و یا با بار مخالف شتاب می گیرد [۸]. ناپایداری در این جت موجب حرکت های ضربه ای شدید می شود که به تبع آن جت طولیل و باریک شده و اجازه می دهد حلال تبخیر شود و یا مذاب سرد شود و نانوالیاف روی سطح هدف تشکیل شوند. بار الکتریکی جت، موجب خم شدن لیف می شود به طوری که با هر بار حلقه شدن، قطرش کاسته می شود. اندازه و ریزساختار نانوالیاف با متغیرهای عملیاتی متفاوتی کنترل می شود. این متغیرها، ویسکوزیته محلول، ولتاژ، نرخ تغذیه، هدایت محلول، فاصله هدف و لوله موئین و اندازه لوله هستند. روش الکتروریسی بسیار تطبیق پذیر بوده و محدوده وسیعی از مواد پلیمری با محدوده وسیعی از قطر الیاف (نانومتر تا چند میکرومتر)، با این روش تولید می شوند. انواع مختلفی از مولکول ها به راحتی می توانند برای تولید نانوالیاف عامل دار در فرایند شرکت داده شوند. نانوالیاف الکتروریسی شده معمولاً به صورت بی نظم یا جهت دار روی صفحه دوبعدی جمع آوری می شوند [۹]. در شکل (۳) فرایند الکتروریسی به همراه تصویر میکروسکوپی نانوالیاف تولید شده به این روش آورده شده است و در جدول (۱) روش های تولید نانوالیاف با یکدیگر مقایسه شده اند.



شکل (۳): (الف) دستگاه استاندارد الکتروریسی و (ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوالیاف پلی اورتان الکتروریسی شده [۹].

جدول (۱): مزایا و معایب روش های تولید نانوالیاف [۹].

روش تولید	مزایا	معایب
کشی	- فرایند ساده - تجهیزات کم - طیف وسیعی از مواد	- نرخ تولید پایین - تولید غیر پیوسته
تولید از قالب	- طیف وسیعی از مواد - کنترل قطر و طول الیاف	- تلف شدن مواد - محدودیت چیدمان و ابعاد الیاف
جدایش فازی	- چیدمان ۳ بعدی متناقد - تجهیزات کم	- فرایند پیچیده - عدم کنترل چیدمان الیاف - محدود به پلیمرهای خاص
خودآرایی	- چیدمان ۳ بعدی متناقد	- فرایند پیچیده - عدم کنترل جهت و چیدمان الیاف - محدودیت قطر الیاف (۲ تا ۳۰ نانومتر) و طول (۱۰ میکرومتر)
الکتروریسی	- نصب ساده - مقرون به صرفه - تطبیق پذیری بالا اجازه کنترل قطر، میکروساختار و چیدمان الیاف را می دهد. - طیف وسیعی از مواد	- رخنه دهی ضعیف - متناقد ۲ بعدی - اغلب حلال های سمی به کار می رود.

۲-۲- خصوصیات اصلی نانوالیاف

بطور کلی، خصوصیات اصلی نانوالیاف را می توان به سه دسته اصلی تقسیم نمود که شامل قطر و مورفولوژی، ساختار مولکولی و خواص مکانیکی می باشد.

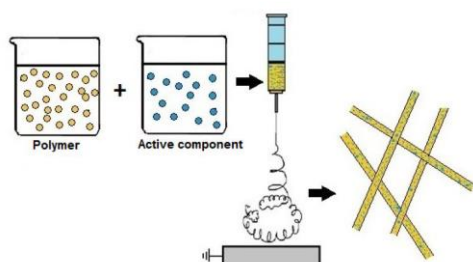
(۱) قطر و مورفولوژی: اندازه گیری میانگین قطر، محاسبه خلل و فرج سطح الیاف، اندازه گیری تخلخل و ضخامت لایه ها و همچنین بررسی مورفولوژی نانوالیاف الکتروریسی شده (تشکیل الیاف بدون گویچه) از اهمیت بسزایی در مطالعه ساختاری نانوالیاف برخوردار بوده و یکی از فاکتورهای اصلی برای تعیین شرایط بهینه در این فرایند می باشد [۱۰]. مورفولوژی نانوالیاف را می توان بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM) و میکروسکوپ نیرو اتمی (AFM) مورد بررسی قرار داد. جهت بررسی اندازه خلل و فرج بر روی رشته های لیفی جمع شده روی سطح جمع کننده نیز می توان از پروسیمتری با تفکیک مولکولی استفاده نمود که روش برناتور-امیت-تتر (BET) معمولترین روش می باشد.

(۲) ساختار مولکولی: با توجه به اینکه اندازه الیاف پلیمری الکتروریسی شده از میکرومتر تا نانومتر می تواند تغییر نماید، لذا این سؤال پیش می آید که ساختار بلوری در نانو الیاف چه تغییری می کند و ساختار بلوری آن چه تفاوتی با پلیمر حجیم دارد. همچنین، فرآیند الکتروریسی که دارای ولتاژ بالایی است چه تاثیری می تواند بر روی ساختار بلورین نانوالیاف بگذارد. به کار بردن ولتاژ بالاتر ممکن است منجر به ایجاد نیروی الکتریکی قویتر شده و در نتیجه کشش بیشتری به جت پلیمری در حین فرآیند اعمال گردد و در نتیجه، ممکن است به علت تغییر در نیروهای اعمال شده به سطح جت، شکل گیری بلورها در مقایسه با حالتی که از ولتاژ کمتری استفاده می شود متفاوت باشد. اگر نانوالیاف بر روی یک صفحه یا استوانه دوار جمع گردد، سرعت گردش بیشتر ممکن است منجر به ازدیاد طول بیشتر جت شده و انتظار می رود که زنجیره های پلیمری در راستای محور طولی الیاف و به طور منظم قرار گیرند. ساختار بلورین نانوالیاف پلیمری را می توان با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD)، ترموگرام های آنالیز حرارتی روبشی افتراقی (DSC)، میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM) و طیف سنجی رزونانس مغناطیس هسته ای (NMR) بررسی نمود. جهت شناسایی گروه های عاملی نانوالیاف و تعیین نوع واکنش یا پیوندهای برقرار شده با ترکیبات ریزپوشانی شده می توان از تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) استفاده نمود [۱۱].

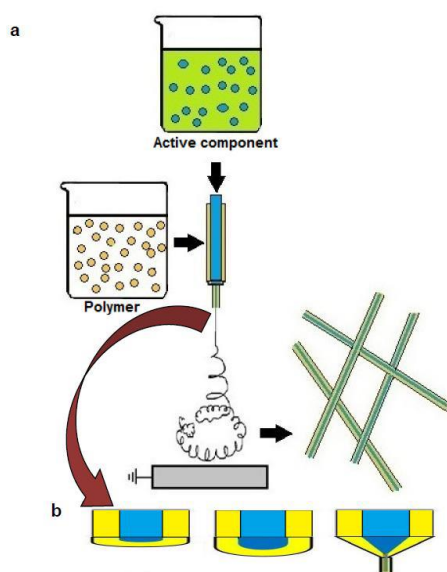
(۳) خواص مکانیکی: نانوالیاف پلیمری الکتروریسی شده قابلیت بکارگیری در زمینه های تخصصی متعددی همانند تولید فیلم های خوراکی، طراحی و ساخت سامانه های فیلتراسیون پیشرفته، ساخت سنسورهای هوشمند، استفاده در ساخت بافت های مصنوعی و غیره را دارد. اما نکته حائز اهمیت این می باشد که برای بررسی طول عمر و دوام مواد/پلیمر در چنین کاربردهایی باید خواص مکانیکی لایه بررسی شود. هنگامی که قطر الیاف از میکرون تا حد نانو کاهش می یابد، چه تغییری در خواص مکانیکی ایجاد می گردد و یا اینکه تغییر در ساختار بلوری نانو الیاف چه تاثیری بر خواص مکانیکی آن ها و لایه های تشکیل شده از آن ها می گذارد. برای آزمایش مکانیکی لایه های نانوالیاف از روش آزمایش استحکام کششی استفاده می شود [۱۱].

۳-۲- روش‌های الکتروریزپوشانی بر پایه تشکیل نانوالیاف

فرایندهای الکتروهیپودینامیک، الکتروپاشش و الکتروریسی، به عنوان فناوری‌های «خواهر» در نظر گرفته می‌شوند. با این حال، مواردی وجود دارد که می‌توان دو فرایند را از هم متمایز نمود. روش الکتروپاشش روش اتمیزه کردن مایع به وسیله نیروهای الکتریکی و در نتیجه تشکیل کپسول در سطح جمع‌کننده می‌باشد، در حالی که در فرایند الکتروریسی به علت تشکیل جت یا جت پایدار (جت سیال پیوسته) در حین فرایند، الیاف به صورت لایه ای بی‌بافت روی سطح جمع‌آوری می‌گردند. در ساختار جت، درگیری بین مولکول‌های موجود در سیال نقش مهمی در رخداد فرایند الکتروپاشش و الکتروریسی بازی کرده که به ترتیب منتهی به تولید گویچه و یا الیاف می‌شوند. اگر غلظت محلول پلیمری کم باشد، جت در فاصله اندکی از رأس مخروط تیلور ناپایدار شده و به قطرات کوچکی متلاشی می‌شود. این قطرات باردار در فضا پراکنده و به علت دافعه الکتریکی از هم فاصله گرفته و به سمت جمع‌کننده کشیده می‌شوند. فرایند الکتروریزپوشانی برای ترکیبات زیست فعال به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که عبارتند از الکتروریزپوشانی تک محوره، دو محوره، انجام فرایند الکتروریزپوشانی بر پایه محلول‌های امولسیون و بارگذاری سطحی بعد از الکتروریسی [۱۲].



شکل (۴): الکتروریزپوشانی محلول‌های پلیمری بر اساس سیستم تک محوره [۱۳].



شکل (۵): الکتروریزپوشانی محلول‌های پلیمری بر اساس سیستم دو محوره [۱۴].

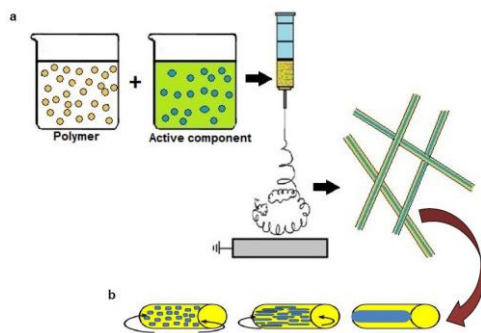
۱) الکتروریزپوشانی محلول‌های پلیمری بر

اساس سیستم تک محوره: حل نمودن مستقیم ماده فعال (ترکیبات موثره یا زیست فعال) در حامل پلیمری رایج‌ترین روش الکتروریزپوشانی می‌باشد. قبل از انجام فرایند، ماده فعال و پلیمر در یک حلال مشابه یا سیستم‌های حلال دو جزئی یا چند جزئی حل می‌شود (شکل (۴)). طی فرایند الکتروریسی، همزمان با حرکت محلول پلیمری از نوک سوزن به سمت جمع‌کننده، میدان الکتریکی باعث تبخیر کامل حلال شده و در نتیجه الیاف به صورت شبکه‌ای بی‌بافت روی سطح جمع‌کننده انباشته می‌گردند. بنابراین، به علت تبخیر حلال و فعل و انفعالات صورت گرفته در حین فرایند، ماده فعال درون ماتریس پلیمری محبوس گشته و عملیات ریزپوشانی بدین طریق انجام می‌پذیرد. این روش برای ریزپوشانی ترکیبات بیولوژیکی حساس مانند پروتئین‌ها، سلول‌ها و آنزیم‌ها مناسب نیست. زیرا برخی از حلال‌های آلی که برای الکتروریسی پلیمرهای مصنوعی استفاده می‌شود ممکن است باعث ایجاد تغییرات کنفورماسیونی در پروتئین‌ها شده و یا حساسیت بیولوژیکی آنها را بعد از همزدن مکانیکی، هموژنیزاسیون یا فرایند اولتراسونیک تخریب نماید [۱۳].

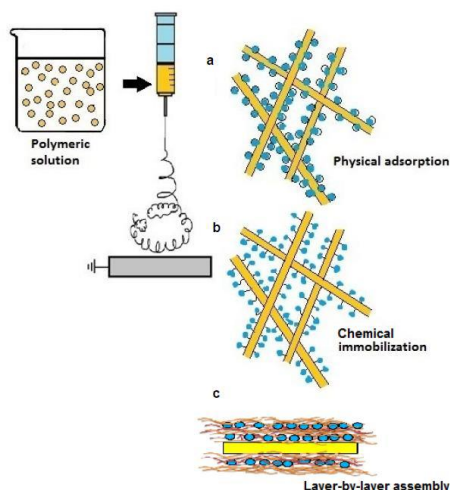
۲) الکتروریزپوشانی محلول‌های پلیمری بر اساس

سیستم دو محوره: برخلاف الکتروریسی تک محوره که ماده فعال به طور تصادفی در داخل ماتریس الیاف توزیع می‌گردد، الکتروریسی دو محوره قادر به ریزپوشانی ماده فعال در داخل مرکز الیاف می‌باشد. ماده فعال و پلیمر طی فرایند الکتروریسی در سوزن دو محوره (متحد المركز) جدا از هم قرار دارند به طوری که در نهایت، نانوالیاف با ساختار هسته-پوسته حاصل می‌گردد (شکل ۶a).

در این روش، ماده فعال در قسمت داخلی سوزن دو محوره (به عنوان هسته) و محلول پلیمری در فضای بین سوزن داخلی و خارجی (به عنوان پوسته یا دیواره ماده ریزپوشانی کننده) قرار می‌گیرد و به طور همزمان رسیدن می‌شوند. نکته مهم در این روش این می‌باشد که مخروط تیلور باید از پایداری کاملی برخوردار باشد (شکل (۵)). همچنین ماده فعال می‌تواند محلول/ترکیبی با قابلیت الکتروریسی یا فاقد قابلیت الکتروریسی باشد، اما محلول پلیمری به عنوان دیواره یا پوسته باید قابلیت الکتروریسی از همه لحاظ را دارا باشد. مهمترین مزیت الکتروریسی دو محوره نسبت به الکتروریسی تک محوره انعطاف‌پذیری در نوع و اندازه الیافی است که تولید می‌شود.



شکل (۶): فرایند الکترورئسی بر پایه محلول‌های امولسیون [۱۴].



شکل (۷): ریزپوشانی از طریق بارگذاری ماده فعال به وسیله جذب فیزیکی، تثبیت شیمیایی یا روش تجمع لایه - لایه [۱۵].

روش جذب فیزیکی این امکان مهم را به وجود می‌آورد که از نانوالیاف به عنوان داربست برای بارگذاری ترکیبات مختلف استفاده نمود. همچنین با استفاده از این روش، از تغییرات فیزیکی یا شیمیایی که در حین انجام فرایند یا تهیه محلول پلیمری روی ماده فعال ممکن است ایجاد گردد، جلوگیری نمود. اما انکسولاسیون به روش جذب فیزیکی برای رهائش کنترل شده مناسب نیست زیرا که ماده فعال جذب شده بر سطح غشا الیاف ممکن است به راحتی در حین آماده سازی شسته شود. تثبیت شیمیایی شامل تثبیت ماده فعال بر روی سطح نانوالیاف از طریق تشکیل یک پیوند شیمیایی می‌باشد بطوری که ماده فعال را نمی‌توان به آسانی از سطح نانوالیاف جدا نمود (شکل (۷)). رایج‌ترین گروه‌های عاملی سطحی برای تثبیت شیمیایی عبارتند از گروه‌های عاملی کربوکسیل، آمین و هیدروکسیل. همچنین ماده فعال از طریق روش‌های مختلفی همانند اتصالات عرضی^۱ و فعالسازی گروه‌های عاملی سطحی می‌تواند پیوند کووالانسی برقرار کند. پیوند کووالانسی قوی‌ترین و پایدارترین سامانه‌های ریزپوشانی در تثبیت شیمیایی را ایجاد می‌نماید [۱۵].

تجمع لایه-لایه یکی دیگر از روش‌های موثر در بارگذاری ترکیبات فعال در سطح نانوالیاف بعد از انجام فرایند الکترورئسی می‌باشد (شکل (۷)). در این روش لایه‌ای از پلی‌الکترولیت‌ها بر سطح سوبسترا باردار رسوب نموده و یک پوشش چند لایه شکل می‌گیرد. پلی‌الکترولیت‌ها یا سایر ترکیبات باردار الکتروستاتیکی می‌توانند قویاً جذب سطح الیاف گردد تا یک کمپلکس پایدار ریزپوشانی تشکیل شود.

پلیمرهای طبیعی و سنتزی بسیار زیادی در طی سالیان اخیر مورد تحقیق قرار گرفته و قابلیت الکترورئسی شدن آنها بررسی شده است. پلی‌گلیکولیک اسید، پلی‌لاکتیک اسید و پلی‌کاپرولاکتون پلیمرهای مهمی هستند که برای استفاده در مهندسی بافت الکترورئسی شده‌اند. این پلیمرها به طور موقعب، می‌تواند در سیستم‌های هدمندرسانی و ریزپوشانی نیز استفاده شده‌اند، اما استفاده از آنها برای کاربردهای غذایی مجاز نیست [۱۶]. در مقابل، بیوپلیمرهای غذایی مانند پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها به طور

۳) الکتروریزپوشانی بر پایه محلول‌های

امولسیونی: شکل (۶) شماتیکی از فرایند الکترورئسی بر پایه محلول‌های امولسیونی را نشان می‌دهد. در الکترورئسی امولسیون آب در روغن (W/O)، پلیمر در حلال آلی و ترکیب فعال در فاز آبی حل می‌شود. الکترورئسی امولسیون یک فرایند ریزپوشانی کنترل شده با رهائش یکنواخت می‌باشد. در این روش، ماده فعال توسط امولسیفایرها یا مواد فعال سطحی احاطه و به درون یک حامل پلیمری اضافه می‌شود. برخلاف الکترورئسی دو محوره که برای تشکیل ساختار هسته-پوسته نیازمند یک سوزن دو محوره است، در این روش، قابلیت تشکیل همان ساختار نانوالیاف (هسته-پوسته) به آسانی و با استفاده از یک سوزن ساده و سیستم تک محوری امکان‌پذیر می‌باشد [۱۴].

۴) بارگذاری سطحی بعد از الکترورئسی:

ریزپوشانی می‌تواند بعد از انجام فرایند الکترورئسی و از طریق بارگذاری ماده فعال به وسیله جذب فیزیکی، تثبیت شیمیایی یا روش تجمع لایه - لایه صورت پذیرد (شکل (۷)). غشاهای نانوالیاف حاصل از الکترورئسی داربست مناسبی برای بارگذاری سطحی می‌باشد: (۱) سطح زیاد غشا باعث افزایش ظرفیت بارگذاری به ازاء واحد جرم می‌باشد؛ (۲) ساختار متخلخل قابلیت دسترسی سایت‌های فعال برای افزایش سرعت واکنش را فراهم می‌سازد. روش جذب فیزیکی یک فرایند ساده غوطه‌وری می‌باشد (شکل a8). بدین صورت که نانوالیاف الکترورئسی شده در یک سوسپانسیون یا محلول خالص حاوی ماده فعال غوطه‌ور شده و ماده فعال از طریق نیروهای الکتروستاتیکی روی سطح الیاف جذب می‌گردند [۱۵].

عمومی ایمن شناخته شده‌اند^۱ (GPRS) و بطور گسترده‌ای در محصولات غذایی استفاده می‌شوند. ژلاتین، آلژینات، کلاژن، ژئین، گلیادین، کارژین، پروتئین‌های آب‌پنیر، پروتئین سویا، انواع صمغ‌ها و موسیلاژها، کیتوزان، نشاسته، استات نشاسته، نشاسته هیدروکسی پروپیل، و مشتقات سلولز انواعی از بیوپلیمرهای غذایی می‌باشند که پیش از این الکتروریسی شده‌اند. عدم سمیت، زیست تخریب‌پذیری و مقاومت مکانیکی بالای آنها از جمله مزایای این بیوپلیمرها می‌باشد [۱۷]. بسیاری از این بیوپلیمرها قابلیت الکتروریسی در محلول‌های آبی را ندارند. ویسکوزیته پایین و داشتن ویژگی‌های شل‌شونده با برش (رفتار سودوپلاستیک) دلیل عدم الکتروریسی محلول‌های آبی بیوپلیمرها می‌باشد. اما می‌توان از طریق مخلوط کردن محلول‌های آبی با پلیمرهای کمکی آنها را الکتروریسی نمود.

۲-۴- کاربردهای نانوالیاف حاصل از الکتروریسی برای ریزپوشانی ترکیبات غذایی

توسعه فرآورده‌های غذایی دانشمندان این علم را بر آن داشته است تا در جستجو و معرفی روش‌های نوینی برای فرآوری و توسعه محصولات غذایی باشند. صنعت غذا هر روز ویژگی‌های پیچیده‌تری را برای ترکیبات غذایی انتظار دارد که اغلب تنها با استفاده از روش‌های ریزپوشانی امکان‌پذیرند. فناوری ریزپوشانی ویژگی‌های تازه‌ای را در اختیار سازندگان مواد غذایی می‌گذارد که انتقال، نگهداری و حمل این مواد را آسان‌تر نموده، از ترکیبات حساس یا فعال غذاهای عملکرد نیز محافظت می‌کند. در قیاس با صنایع دارویی، در صنایع غذایی اغلب ریزپوشانی با عملیات بزرگ مقیاس‌تر و کم هزینه‌تر ترجیح داده می‌شود. در جدول ۲ انواع ترکیبات غذایی که در صنعت امروز غذا کپسوله می‌شوند، به طور خلاصه نشان داده شده است. با این وجود، تأکید این بخش بر آن دسته از مواد غذایی است که با استفاده از فرآیند الکتروریسی به طور موفقیت آمیز کپسوله شده‌اند [۱۸].

ریزپوشانی با استفاده از فرایند الکتروریسی برای تثبیت مولکول‌های غذایی عملکرد با مزایای سلامتی بخش همچون اپیگالوکاتچین گالات، گالیک اسید، بتا-کاروتن و اسیدهای چرب چند حلقوی اشباع در داخل میکرو/ نانوالیاف الکتروریسی شده ژئین انجام شده است. کلیه این مطالعات، عملی بودن روش الکتروریسی به عنوان ابزاری نوین جهت طراحی و ساخت حامل‌های لیفی برای ماندگاری بیشتر و انتقال موثرتر مولکول‌های زیست فعال را نشان دادند. تمامی این ترکیبات عملکرد به طور معمول به شکل کپسوله در می‌آیند تا ثبات فرآورده نهایی حفظ شود و طعم گزنده و تلخ آن در هنگام خوردن احساس نشود. سیکلودکستین‌ها خانواده‌ای از الیگو ساکاریدهای حلقوی هستند که ساختار مولکولی مارپیچ شکلی دارند. از این رو، طعم‌دهنده‌ها و رایحه‌های غذایی فرار مثل وانیلین، درون انواع مختلفی از سیکلودکستین‌ها ادغام شده‌اند تا کمپلکس‌های در برگیرنده سیکلودکستین تشکیل گردند. الکتروریسی برای ساخت الیاف ژئین و PVA حاوی کمپلکس سیکلودکستین‌های مختلف به کار گرفته شده است. ریزپوشانی سیکلودکستین‌ها در ژئین و PVA که در این مطالعات گزارش شده به دلیل ویژگی‌های ژئین و ویژگی‌های انتقال دهنده سیکلودکستین‌ها، می‌تواند منجر به ویژگی‌های نوید بخشی در این حامل‌های پلیمری شود [۱۹].

برخی از مزایای کاربرد الیاف الکتروریسی برای ریزپوشانی کردن آنزیم‌ها عبارتند از: ۱) انواع مختلفی از پلیمرها را می‌توان برای تامین نیازهای مختلف به عنوان مواد پشتیبان، الکتروریسی نمود؛ ۲) تخلخل بالا و ارتباطات بینابینی الیاف الکتروریسی، پلتفرمی عالی برای انتقال جرم با حداقل ممانعت به وجود می‌آورد؛ ۳) سطوح الیاف را می‌توان به نحوی که مناسب فعالیت آنزیم باشد، اصلاح نمود. ریزپوشانی لیپاز بر روی الیاف الکتروریسی با استفاده از جذب سطحی فیزیکی، مخلوط کردن مستقیم یا از طریق ایجاد پیوند کووالانس انجام شده است. این روش‌های تثبیت لیپاز درون شبکه الیاف الکتروریسی، می‌تواند برای هیدرولیز روغن‌های گیاهی، بیوکاتالیست‌ها یا واکنش‌های ترانس استریفیکاسیون مورد استفاده قرار گیرد. شبکه الیاف الکتروریسی به دلیل سطح مقطع زیاد خود، دارای ظرفیت بالای بارگیری آنزیم است. مطالعات مذکور عموماً نشان دادند که لیپاز ریزپوشانی شده همان فعالیت کاتالیزوری نوع آزاد را دارد، با این تفاوت که پایداری آن بالاتر و عمر ماندگاری آن بیش تر است. سایر آنزیم‌هایی که با استفاده از فرایند الکتروریسی ریزپوشانی شده‌اند عبارتند از سامانه گلوکز اکسیداز / کاتالاز با هدف محافظت مواد غذایی، آنزیم تیروزیناز به عنوان بیوسنسوری برای ترکیبات فنلی و سلولاز برای تولید قندهای احیاکننده را نام برد [۲۰].

علاوه بر این، الکتروریسی به عنوان روشی سریع و میانبر برای خشک کردن و ریزپوشانی باکتری‌های زنده با تأثیر کم بر روی قدرت بقای آنها مورد تأیید واقع شده است. ریزپوشانی بیفید و باکترهای زنده با استفاده از فرآیند الکتروریسی و کاربرد PVA و WPC به عنوان حامل‌های پلیمری بررسی شده است. در مطالعات ایشان ریزپوشانی بیفیدوباکترهای زنده در WPC با روش جایگذاری مستقیم (الکتروریسی تک محوره) انجام شد و کپسوله کردن باکتری‌های زنده درون PVA با کمک الکتروریسی دو محوره، صورت گرفت. با این وجود هر دو بررسی نشان دهنده پایداری و بقای باکتری‌های زنده، پس از فرآیند الکتروریسی بود و امکان استفاده از روش الکتروریسی را برای اینگونه مصارف اثبات نمود [۲۱].

کاربرد عصاره‌های زیست فعال گیاهان به عنوان ترکیبات عملگر در غذا یکی از موضوعات مستمر تحقیقاتی در صنایع غذایی بوده است. با این حال، طبیعت مواد زیست فعال کاربرد مستقیم آنها را در ماتریس‌های غذایی محدود نموده است و لذا تکنولوژی ریزپوشانی با تبدیل عصاره‌های گیاهی مایع به ترکیبات عملگر خشک، و در عین حال، محافظت و پایداری شیمیایی مواد زیست فعال گیاهی، این عمل را تسهیل نموده است. الکتروریسی یک فرآیند ریزپوشانی کاربردی برای تثبیت عصاره‌های فعال گیاهی مایع در حامل‌های پلیمری است. عصاره‌های گیاهی که تاکنون به صورت کامپوزیت‌های رشته‌ای لیفی درآمده‌اند از زردچوبه و تیمول، تهیه شده بودند. پلیمرهایی از قبیل ژئین، سلولز استات، پروتئین ایزوله سویا، ژلاتین، پلیمرهای مبتنی بر کیتوزان، پلی لاکتیک اسید (PLA)، پلی اتیلن اکساید (PEO)، پلی وینیل الکل (PVA)، پلی وینیل پیرولیدین (PVP)، پلی کاپرولاکتون PCL، PCL/PLA و پلی تری متیلن کربنات (PTMC) در مطالعات مزبور به عنوان حامل استفاده شدند. نانوالیاف الکتروریسی شده عموماً راندمان بارگذاری بالایی داشتند، بی آنکه مورفولوژی آنها مختل شود. ثابت شد که عصاره‌های گیاهی بارگذاری شده پایداری خوبی نشان دادند و خواص عملکردی خود را پس از فرآیند الکتروریسی حفظ نمودند. تثبیت موفق این عصاره‌ها درون حامل‌های پلیمری خواص عملکردی رشته‌های ساخته شده را بهبود بخشید. فعالیت‌های آنتی اکسیدانی یا ضد میکروبی این رشته‌های الکتروریسی شده حاکی از آنست که می‌توان آنها را احتمالاً به عنوان اجزای بسته بندی فعال یا سایر مواد عملگر دارای ساختار نانو برای کاربردهای غذایی مورد استفاده قرار داد [۲۲].

۳- نتیجه گیری

روش‌های مختلفی برای تولید نانوالیاف وجود دارد که از میان آنها الکتروریسی تنها روش تولید نانوالیاف در مقیاس تجاری می‌باشد. الکتروریزی پوشانی به روش الکتروریسی دارای مزایای قابل توجهی از جمله قابلیت کنترل اندازه لیاف، ایجاد لیاف منفرد و کارایی بالای ریزپوشانی می‌باشد. نسبت سطح به حجم بالا که ظرفیت قابل توجهی برای اتصال و آزادسازی گروه‌های عملگر، جذب مولکول‌ها، یون‌ها و دیگر ذرات در مقیاس نانو را فراهم می‌کند. از نانوالیاف با توزیع اندازه خوب، انتظار می‌رود که آزادسازی قابل پیش بینی ماده فعال را در تمام مدت مورد نیاز تأمین کند. با توجه به این مزایا محققین علوم غذایی از الکتروریسی برای ریزپوشانی کردن مواد استفاده می‌کنند تا بدین وسیله خواص عملکردی همانند کارایی، اثر بخشی، پایداری و حل پذیری مواد فعال را در ابعاد نانو افزایش دهند. این مسئله به خاطر آن است که مواد دارای ساختار نانو، حل‌پذیری و فراهمی زیستی بالایی نشان داده، آزادسازی کنترل شده آن‌ها افزایش یافته و دقت بالاتری در هدف‌گیری در مقایسه با ذرات دارای ابعاد میکرون دارند.

منابع

- [1] Huang, Z., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., Ramakrishna, S. "A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites", Composites Science and Technology vol.63, pp. 2223–2253, (2003).
- [2] Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W., Lim, T., Ma, Z. "An Introduction to Electrospinning and Nanofibers", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore, ISBN 981-256-415-2, (2005).
- [3] Ondarcuhu, T., Joachim, C. "Drawing a single nanofibre over hundreds of microns", Europhys Lett ;vol.42(2), 215–220, (1998).
- [4] Feng, L., Li, S., Li, H., Zhai, J., Song, Y., Jiang, L., et al, "Super- Hydrophobic Surface of Aligned Polyacrylonitrile Nanofibers", Angew Chem Int Ed vol.41(7), pp. 1221–1223, (2002).
- [5] Ma, P.X., Zhang, R., "Synthetic nano-scale fibrous extracellular matrix", J Biomed Mat Res; vol.46, pp. 60–72, (1999).
- [6] Beachley, V., Wen, V., "Polymer nanofibrous structures: Fabrication, biofunctionalization, and cell interactions", Progress in Polymer Science vol.35, pp. 868–892, (2010).
- [7] Li, Y., Lim, L. T., and Kakuda, Y. 2009. Electrospun Zein Fibers as Carriers to Stabilize Epigallocatechin Gallate. Journal of Food Science, 74: 233-240.
- [8] Zhmayev, Eduard, Daehwan Cho, and Yong Lak Joo. "Nanofibers from gas-assisted polymer melt electrospinning." Polymer 51, no. 18 (2010): 4140-4144.
- [9] Yang, Ruirui, Jihuan He, Lan Xu, and Jianyong Yu. "Bubble-electrospinning for fabricating nanofibers." Polymer 50, no. 24 (2009): 5846-5850.

- [10] Brown, Toby D., Paul D. Dalton, and Dietmar W. Hutmacher. "Melt electrospinning today: An opportune time for an emerging polymer process." *Progress in Polymer Science* 56 (2016): 116-166.
- [11] Mitchell, Geoffrey R., ed. *Electrospinning: principles, practice and possibilities*. Royal Society of Chemistry, 2015.
- [12] Alghoraibi, Ibrahim, and Sandy Alomari. "Different Methods for Nanofiber Design and Fabrication." *Handbook of Nanofibers* (2018): 1-46.
- [13] Nazir, A., N. Khenoussi, L. Schacher, T. Hussain, D. Adolphe, and A. H. Hekmati. "Using the Taguchi method to investigate the effect of different parameters on mean diameter and variation in PA-6 nanofibres produced by needleless electrospinning." *RSC Advances* 5, no. 94 (2015): 76892-76897.
- [14] Sasithorn, Nongnut, Lenka Martinová, Jana Horáková, and Rattanaphol Mongkholrattanasit. "Fabrication of Silk Fibroin Nanofibres by Needleless Electrospinning." In *Electrospinning-Material, Techniques, and Biomedical Applications*. InTech, 2016.
- [15] Upson, Sarah J., Tom O'Haire, Stephen J. Russell, Kenneth Dalgarno, and Ana Marina Ferreira. "Centrifugally spun PHBV micro and nanofibres." *Materials Science and Engineering: C* 76 (2017): 190-195.
- [16] Yuan, X., Zhang, Y., Dong, C., and Sheng, J. 2004. Morphology of ultrafine polysulfone fibers prepared by electrospinning. *Polymer International*, 53: 1704-1710.
- [17] Mo, X., Xu, C., Kotaki, Mea., Ramakrishna, S. 2004. Electrospun (PLLACL) nanofiber: a biomimetic extracellular matrix for smooth muscle cell and endothelial cell proliferation. *Biomaterials*, 25(10):1883- 90.
- [18] Deitzel, J.M., Kleinmeyer, J.D., Hirvonen, J.K., Beck Tan, N.C., 2001. Controlled deposition of electrospun poly (ethylene oxide) fibers. *Polymer* 42 (19), 8163-8170.
- [19] Supaphol, P., Mit-uppatham, C., and Nithitanakul, M. 2005. Ultrafine electrospun polyamide-6 fibers: effects of solvent system and emitting electrode polarity on morphology and average fiber diameter. *Macromolecular materials and engineering*, 290: 933-942.
- [20] Miri, M. A., Habibi Najafi, M. B., Movaffagh, J. 2016. Optimization of Elecrospinning Process of Zein Using Central Composite Design. *Fibers and Polymers*. 17(5), 769-777.
- [21] Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. 2010. Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology advances*, 28 (3), 325-347.
- [22] Choi, J., Kim, H., and Yoo, H. 2015. Electrospinning strategies of drug-incorporated nanofibrous mats for wound recovery. *Drug Delivery and Translational Research*, 5(2):137-145.

شناسایی و ارزیابی ریسک‌های ایمنی بخش‌های اداری و عملیاتی ذوب آهن پاسارگاد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۴

کد مقاله: ۸۸۰۶۴

واحد آژوغ^۱

چکیده

در این مطالعه به منظور تعیین درجه مواجهه جهت برآورد سطح ریسک مخاطرات بهداشتی از نتایج اندازه‌گیری عوامل زیان آور محیط کار موجود در شرکت ذوب آهن پاسارگاد مورد بررسی که یک بار در سال انجام شده بود، استفاده گردید. با توجه به اینکه یک بار اندازه‌گیری در طول سال ممکن است نماینده میزان مواجهه کارکنان در طول سال نباشد، این احتمال وجود دارد که تعیین درجه مواجهه با عوامل زیان آور با میزانی از عدم قطعیت همراه باشد؛ از این رو ضروری است تعداد دفعات اندازه‌گیری عوامل زیان آور براساس استراتژی‌های بهداشت حرفه‌ای به صورت دقیق‌تر تعیین گردد. باید خاطرنشان ساخت که در مورد برخی از خطرات شغلی از جمله نوبت کاری، عوامل بیولوژیکی و غیره ممکن است روش‌های استاندارد اندازه‌گیری وجود نداشته باشد که در این موارد می‌بایست از روش‌های اختصاصی برای ارزیابی ریسک استفاده گردد. نتایج نشان داد که از بین مخاطرات مورد بررسی ریسک صدا، روشنایی و ارتعاش در سطح بالا، استرس حرارتی و پوسچر نامناسب در سطح متوسط و بقیه عوامل در سطح پایین ارزیابی گردیده‌اند. در مجموع مشاغل مورد بررسی ۵۹/۱ درصد از ریسک‌ها در سطح پایین، ۲۷/۴ درصد در سطح متوسط و درصد در سطح بالا قرار دارند. براساس نتایج حاصل از ارزیابی ریسک به ترتیب ۱/۳ و ۸۰/۹ درصد از مشاغل اداری و عملیاتی مورد بررسی از نظر ریسک صدا در سطح بالا قرار داشتند. در مورد روشنایی نیز ۳۵ درصد از مشاغل اداری و ۳۵ درصد از مشاغل عملیاتی دارای ریسک در سطح بالا بودند. همچنین در ۸۴ درصد از مشاغل عملیاتی، سطح ریسک مواجهه با ارتعاش در حد متوسط ارزیابی شد. در مورد استرس حرارتی که تنها در مشاغل عملیاتی مشاهده می‌شود، ۵۱/۸ درصد دارای سطح ریسک متوسط و ۴۸/۲ درصد دارای سطح ریسک بالا بودند. سطح ریسک مخاطرات ارگونومیک در حد متوسط ارزیابی شد.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک، ایمنی، مخاطرات، مشاغل عملیاتی، خطرات شغلی

۱- مقدمه

ارزیابی ریسک یکی از مراحل پایه و اصلی در تمامی سیستم‌های مدیریت ایمنی و بهداشت حرفه‌ای است که با هدف شناسایی، ارزیابی و اولویت بندی مخاطرات شغلی جهت کنترل آن‌ها انجام می‌شود [۳-۱]. روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک مخاطرات در محیط‌های کاری وجود دارند که به طور عمده بر مخاطرات ایمنی متمرکز می‌باشند [۴]؛ اما در صنایع، کارکنان علاوه بر مخاطرات ایمنی با عوامل زیان آور مختلفی مواجه هستند و عدم رعایت اصول احتیاطی و اقدامات کنترلی در هنگام کار می‌تواند منجر به عوارض نامطلوبی در ارتباط با سلامت کارکنان گردد. گستره این عوارض به نوع عامل زیان آور (از جمله شیمیایی، فیزیکی و ارگونومی)، ویژگی‌های آن و مدت زمان مواجهه بستگی دارد [۵] از این رو برای تصمیم گیری در مورد اقدامات کنترلی و حفاظت کارکنان در برابر عوارض نامطلوب ناشی از عوامل زیان آور شغلی لازم است ریسک بهداشتی مواجهه با این مواد به طور اختصاصی مورد ارزیابی قرار گیرد [۶]. با استفاده از ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با عوامل زیان آور شغلی می‌توان ارزیابی جامعی از میزان مواجهه کارکنان با عوامل مخاطره آمیز بهداشتی داشت و در مورد پیش بینی اقدامات کنترلی برای حفاظت کارکنان در محیط کار تصمیم گیری نمود [۷]. با این وجود روش‌های ارزیابی ریسک مرسوم، جنبه‌های بهداشتی محیط کار از جمله عوامل زیان آور شغلی را به شکل تخصصی در نظر نمی‌گیرند؛ بدین معنا که معمولاً نتایج اندازه گیری آلاینده‌های محیط کار در تعیین رتبه ریسک مخاطرات در نظر گرفته نمی‌شود [۸].

در یک دسته بندی کلی می‌توان عوامل زیان آور شغلی را به پنج گروه عوامل زیان آور شیمیایی (شامل: انواع آئروسول‌ها، گازها و بخارات، بیولوژیکی (شامل انواع بیوائروسول‌ها)، فیزیکی (شامل: صدا و ارتعاش، تنش‌های حرارتی محیط کار، روشنایی و انواع تشعشعات یونیزان و غیر یونیزان)، ارگونومی و روانی تقسیم بندی نمود [۴]. برای ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با عوامل زیان آور شیمیایی لازم است درجه مواجهه و خطر آن‌ها ارزیابی شود. درجه مواجهه براساس اندازه گیری عوامل براساس روش‌های استاندارد تعیین می‌گردد. درجه خطر نیز با توجه به نوع و شدت آسیبی که بر انسان وارد می‌شود و براساس مطالعات سم شناسی مشخص می‌گردد [۲]. عوامل زیان آور ارگونومی طیف وسیعی از خطرات از جمله نوبت کاری، وضعیت‌های کاری نامناسب، بار کاری روانی و جسمانی و غیره را در بر می‌گیرند. با این وجود، در کتاب حدود مواجهه شغلی ایران (OEL : Occupational Exposure Limit) [۱۰] تنها برای برخی از این خطرات حدود مواجهه شغلی ارائه شده است که ارزیابی ریسک مخاطرات ارگونومیک براساس اطلاعات موجود در صنایع می‌تواند در مورد آن‌ها انجام شود. در بین خطرات ارگونومیک، آسیب‌های اسکلتی-عضلانی اهمیت به سزایی داشته و در جهان (چه در کشورهای توسعه یافته و چه در کشورهای درحال توسعه) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند و بخش بزرگی از روش‌های ارزیابی ارگونومیک به روش‌های ارزیابی ریسک مبتلا به اختلالات اسکلتی-عضلانی اختصاص یافته است [۱۱].

۲- روش تحقیق

مطالعه توصیفی-تحلیلی حاضر در پتروشیمی مارون ماهشهر از تابستان سال ۱۳۹۹ تا بهمن سال ۱۳۹۹ انجام شد. در این مطالعه ۳۳ گروه شغلی شامل ۱۲۵ شغل مختلف اداری و عملیاتی مورد بررسی قرار گرفتند. شایان ذکر است مشاغلی که عوامل زیان آور آن‌ها اندازه گیری شده و نتایج آن در دسترس بود، وارد مطالعه شدند. روش مورد استفاده در این پژوهش برگرفته از مطالعه Chackling و همکاران [۱۲] و Tank Kia Tang [۱۳] بود که پس از توسعه و بومی سازی براساس الزامات بهداشت حرفه‌ای ایران از جمله آخرین ویرایش کتاب حدود مواجهه شغلی (OEL) تحت عنوان "روش ارزیابی ریسک جامع مخاطرات بهداشت حرفه‌ای (COHRA)" ارائه گردید و مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام این مطالعه ابتدا تیم ارزیابی ریسک بهداشت حرفه‌ای متشکل از سرپرست واحد، نماینده کارکنان و متخصص بهداشت حرفه‌ای و ایمنی تشکیل شد و با مشورت آن‌ها عوامل زیان آور موجود در هر گروه شغلی شناسایی گردید. در مرحله بعد، درجه مواجهه (ER) و درجه خطر (HR) هر کدام از عوامل زیان آور به شیوه زیر تعیین گردید و درجه ریسک هر عامل با استفاده از رابطه (۳-۱) برآورد گشت. در نهایت، سطح ریسک هر کدام از عوامل مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۴].

$$Risk Level = \sqrt{ER \times HR} \quad (1)$$

۲-۱- تعیین درجه مواجهه (ER)

در این مطالعه درجه مواجهه افراد با هریک از عوامل زیان آور شغلی براساس دو عامل میزان مواجهه فرد و حدود مجاز شغلی محاسبه گردید. برای تعیین میزان مواجهه با تمامی عوامل زیان آور محیط کار از نتایج اندازه گیری‌های انجام شده طی یک سال

موجود در صنعت مورد بررسی استفاده شد. باید خاطرنشان ساخت که درجه مواجهه با عوامل فیزیکی و ارگونومی (برای هر عامل) با استفاده از نسبت میزان مواجهه و حدود مجاز مواجهه شغلی مندرج در آخرین ویرایش کتابچه حدود مجاز مواجهه شغلی (OEL) کشوری (ویرایش ۱۳۹۶) محاسبه شد و از ۱ تا ۵ رتبه بندی گردید (به ترتیب جدول (۱) و (۲)). از آنجایی که حد مجاز مواجهه با صدا در مورد اتاق کنترل و فعالیت‌های اداری ۷۰ دسی بل می‌باشد، برای صدای بیش از ۷۰ دسی بل درجه مواجهه امتیاز ۵، برای صدای ۶۰ تا ۷۰ دسی بل درجه مواجهه امتیاز ۴ و برای صدای کمتر از ۶۰ دسی بل درجه مواجهه امتیاز ۱ در نظر گرفته شد، از سوی دیگر به منظور ارزیابی روشنایی محیط کار، میزان حدود مواجهه متناسب با هر وظیفه از کتابچه OEL کشوری استخراج گردید و در صورتی که روشنایی محیط مورد بررسی کمتر از حدود توصیه شده بود، درجه مواجهه ۵ و اگر بیشتر و یا در حدود توصیه شده بود، درجه مواجهه ۱ در نظر گرفته می‌شد.

جدول (۱): تعیین درجه مواجهه با عوامل فیزیکی در روش COHRA [۱۵].

درجه مواجهه	صدا		ارتعاش	روشنایی	تنش گرمایی (شاخص WBGT: Wet Bulb Globe Temperature)
	میزان مواجهه بر حسب (A) دسی بل	دوزیمتری			
۵	$E > OEL$	۱۰۰ درصد >D	$OEL > E$ ۱۰۰ درصد	$OEL > E$ ۱۰۰ درصد	$OEL > E$ ۱۰۰ درصد
۴	$AL < E < OEL$	۱۰۰ درصد $\leq D < ۵۰$ درصد	$OEL > E \geq ۷۵$ درصد		$OEL > E \geq ۱۰۰$ درصد
۳	$E \leq AL$	۲۵ درصد $\leq D$	$OEL > E \geq ۷۵$ درصد $OEL < ۵۰$ درصد		$OEL > E \leq ۱۰۰$ درصد
۲			$OEL > E \geq ۵۰$ درصد $OEL < ۲۵$ درصد		
۱			$OEL > E \leq ۲۵$ درصد	$OEL \geq E$	

E: میزان مواجهه؛ OEL: حدود مجاز مواجهه شغلی؛ AL: حد مراقبت D: دوز مواجهه

جدول (۲): تعیین درجه مواجهه با مخاطرات ارگونومیک در روش COHRA [۱۵].

درجه مواجهه	امتیاز روش RULA	امتیاز روش REBA	امتیاز روش QEC	امتیاز روش ROSA	حمل بار استفاده از روش WISHA	جدول اسنوک (هل دادن، کشیدن و حمل بار)	ارزیابی کار جسمانی
۵	سطح ۴ (امتیاز نهایی ۷ یا بیشتر)	سطح ۴ (امتیاز نهایی ۸ تا ۱۵)	۷۰ درصد >		$OEL > E$ ۱۰۰ درصد	عدد نهایی > ۵۰	ضربان قلب در هنگام کار بیشتر از حداکثر ضربان مجاز
۴	سطح ۳ (امتیاز نهایی ۵ یا ۶)	سطح ۳ (امتیاز نهایی ۴ تا ۷)	۷۵-۵۱ درصد		$OEL > E \geq ۷۵$ درصد	۶۵-۵۰	
۳	سطح ۲ (امتیاز نهایی ۳ یا ۴)	سطح ۲ (امتیاز نهایی ۲ تا ۳)	۵۰-۴۱ درصد	عدد نهایی ≤ ۵	$OEL > E \geq ۷۵$ درصد $OEL < ۵۰$ درصد	۸۰-۶۵	
۲	سطح ۱ (امتیاز نهایی ۱ یا ۲)	سطح ۱ (امتیاز نهایی ۱)	۴۰ درصد $\leq$	عدد نهایی > ۵	$OEL > E \geq ۵۰$ درصد $OEL < ۲۵$ درصد	۹۰-۸۰	
۱					$OEL > E \leq ۲۵$ درصد	عدد نهایی < ۹۰	ضربان قلب در هنگام کار کمتر از حداکثر ضربان مجاز

E: میزان مواجهه؛ OEL: حدود مجاز مواجهه شغلی

۲-۲- تعیین درجه خطر (HR)

درجه خطر عوامل زیان آور فیزیکی و ارگونومی نیز براساس نوع عامل و قدرت آسیب رسانی آن‌ها با استفاده از جدول (۳) تعیین شد. باید خاطرنشان ساخت که در مورد روشنایی، اگر در موقعیتی با روشنایی نامناسب خطر حادثه وجود داشت، درجه خطر ۳ و در غیر این صورت درجه خطر ۴ در نظر گرفته می‌شد. در مورد صدا نیز اگر صرفاً خطر افت شنوایی وجود داشت، درجه خطر ۳ و در صورتی که مواجهه با صدا احتمال خطای انسانی و برهم زدن تمرکز را در پی داشت، با توجه به شرایط محل درجه خطر ۴ در نظر گرفته می‌شد.

جدول (۳): تعیین درجه خطر عوامل فیزیکی و ارگونومی در روش COHRA [۱۶].

درجه شدت خطر	سطح	توصیف
۵	فاجعه بار - مرگ	مرگ و میر در چند نفر با اثرات غیر قابل برگشت مهم، مواد سرطان زا، سموم اثرگذار بر تولیدمثل، اثرات تهدید کننده زندگی، کمبود روشنایی و شدت صوت که خطر حادثه را در پی داشته باشد.
۴	شدید - صدمات جدی	منجر به مرگ یک نفر، اثرات بهداشتی غیرقابل برگشت یا ناتوان کننده در یک یا چند نفر و عوارض مزمن پیش رونده مانند افت شنوایی، پنوموکوزیس و بیماری‌های ریوی انسدادی
۳	متوسط - نیازمند درمان	صدمات شدید برگشت پذیر که می‌تواند منجر به بیماری و روز از دست رفته کاری (غیبت از کار به دلیل بیماری شود؛ نظیر اختلالات اسکلتی - عضلانی، اثرات فیزیکی آفتاب زدگی، اثرات سیستم عصبی به غیر از نارکوزیس، بیماری‌های هواپرد غیرکشنده، استرس حرارتی و عوارض ناشی از تشعشعات فرابنفش، مادون قرمز و میدان‌های مغناطیسی
۲	جزئی - نیازمند به کمک‌های اولیه	اثرات بهداشتی برگشت پذیر که منجر به درمان پزشکی بدون زمان از دست رفته می‌شود، نارکوزیس و آفتاب سوختگی
۱	قابل چشم‌پوشی - بدون صدمه	اثرات بهداشتی برگشت پذیر با نگرانی اندک نیازمند کمک‌های اولیه، ناراحتی‌های عضلانی جزئی و سردرد

۳-۲- تعیین رتبه ریسک

پس از تعیین درجه خطر و درجه مواجهه و نیز محاسبه درجه ریسک بهداشتی با استفاده از رابطه ۱، سطوح ریسک مطابق با جدول (۴) رتبه بندی گردید. نمرات ۱ تا ۵ سطح ریسک به ترتیب نشان دهنده سطح پایین تا سطح بسیار بالا می‌باشند.

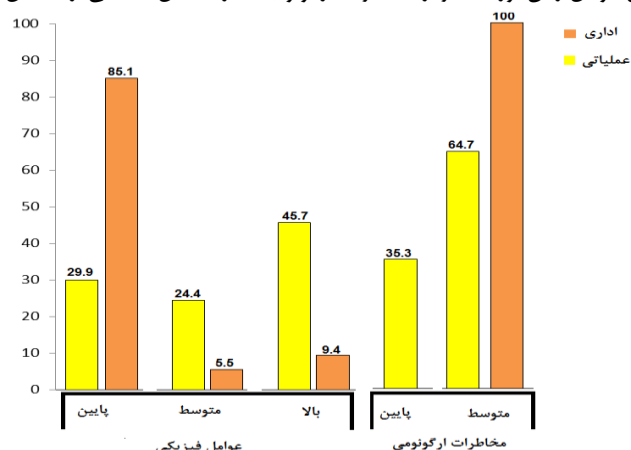
جدول (۴): رتبه‌بندی سطوح ریسک بهداشتی در روش COHRA [۱۷].

نمره ریسک	سطح ریسک	توصیف
۵	بسیار بالا	اقدام فوری برای دور کردن کارگر از منبع لازم است.
۴	بالا	انجام کنترل‌های مهندسی، اندازه گیری مواجهه حداقل یک بار در سال و انجام اقدامات کنترلی موقت
۳	متوسط	ریسک نیازمند توجه اضطراری است. ممکن است ریسک کنترل شده باشد؛ اما به دلیل احتمال وخامت اوضاع، نیاز به بازبینی‌های منظم داشته باشد.
۲-۱	پایین	هیچ گونه اقدام فوری نیاز نیست. در حال حاضر خطر کنترل شده است.

۳- نتایج و بحث

در مطالعه حاضر به بررسی ۹۹ گروه شغلی شامل ۴۳۶ شغل مختلف پرداخته شد که از این تعداد، ۳۰۰ شغل اداری و ۱۳۶ شغل عملیاتی بودند. جدول (۵) یک نمونه کاربرد تکمیل شده به روش COHRA در یکی از مشاغل عملیاتی (اپراتور LDPE) در ذوب آهن پاسارگاد مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود از بین مخاطرات مورد بررسی ریسک صدا، روشنایی و ارتعاش در سطح بالا، استرس حرارتی و پوسچر نامناسب در سطح متوسط و بقیه عوامل در سطح پایین ارزیابی گردیده-

اند. سطح ریسک عوامل زیان آور فیزیکی و ارگونومی در دو بخش اداری و عملیاتی در شکل (۱) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، تمامی عوامل زیان آور به غیر از مخاطرات ارگونومیک در مشاغل عملیاتی از مشاغل اداری بیشتر می‌باشند.



شکل (۱): فراوانی سطوح ریسک عوامل زیان آور در دو بخش اداری و عملیاتی برحسب درصد

جدول (۵): نمونه کاربرگ نتایج ارزیابی ریسک عوامل زیان آور شغلی در یکی از مشاغل عملیاتی (اپراتور LDPE)

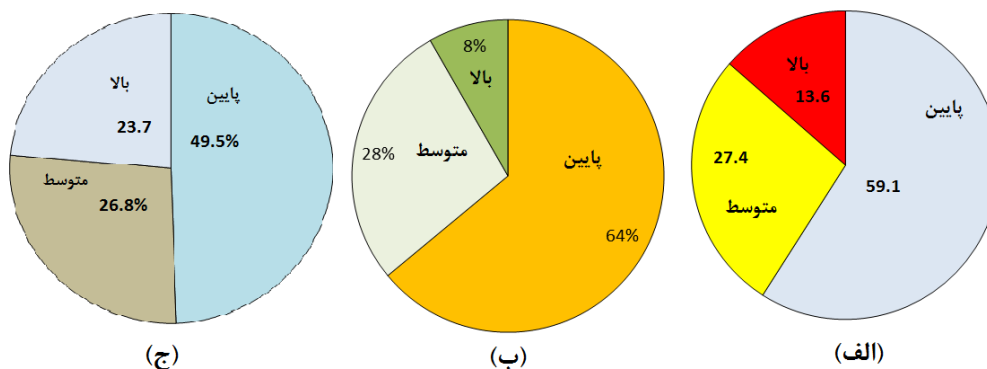
عوامل زیان آور	میزان مواجهه	OEI	درجه مواجهه	درجه شدت خطر	نمره ریسک	سطح ریسک
عوامل فیزیکی	صدا (دسی بل)	۸۶	۸۵	۵	۴	بالا
	روشنایی (Lux)	۳۰	۵۰	۵	۴	بالا
	ارتعاش (m/s^2)	۶/۸	۱/۸۵	۵	۴	بالا
	میدان‌های مغناطیسی (μT)	۴۶	۱۲۰۰	۱	۳	پایین
	میدان‌های الکتریکی (kv/m)	۰/۰۳۹	۱۰	۱	۳	پایین
	استرس حرارتی (سانتی گراد)	۳۳	۲۹	۵	۳	متوسط
مخاطرات ارگونومیک	پوسچر نامناسب (RULA)	—	—	۳	۳	متوسط
	مخاطرات حمل بار با استفاده از روش WISHA	—	—	۳	۳	پایین
	هل دادن، کشیدن و حمل بار	—	—	۳	۳	پایین
	ارزیابی کار جسمانی	—	—	۵	۴	بالا

نتایج ارزیابی ریسک بهداشت حرفه‌ای تمامی مشاغل مورد مطالعه در جدول (۶) ارائه شده است. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، در بخش عوامل فیزیکی بیشترین عوامل مورد بررسی صدا و روشنایی بودند که سطح ریسک صدا در بخش عملیاتی به طور عمده بالا بود و در بخش اداری، بیشترین برآورد سطح ریسک پایین بود. در ارتباط با روشنایی نیز در بخش عملیاتی، بیشتر مشاغل دارای سطح ریسک بالا بودند و در بخش اداری، بیشتر مشاغل سطح ریسک پایین داشتند.

جدول (۶) نتایج ارزیابی ریسک مخاطرات بهداشت حرفه‌ای در مشاغل اداری (۵۹ شغل) و عملیاتی (۴۰ شغل) مورد بررسی

عوامل زیان‌آور	مشاغل	سطح ریسک مخاطرات بهداشت حرفه‌ای																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		بالا		متوسط		پایین																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
عوامل فیزیکی	اداری	۴	۱/۳	۱۰	۳/۳	۲۸۶	۹۵/۳	۳۰۰																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	۱۱۰	۸۰/۹	۲۶	۱۹/۱	—	—	۱۳۶																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	اداری	۱۰۵	۳۵	—	—	۱۹۵	۶۵	۳۰۰																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	۱۰۰	۷۳/۵	۳۶	۲۶/۵	—	—	۱۳۶																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	—	—	۲۱	۸۴	۴	۱۶	۲۵																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	اداری	—	—	—	—	—	۱۰۰	۲۲۷																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	—	—	—	—	—	۱۰۰	۷۲																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	اداری	—	—	—	—	۲۱۷	۱۰۰	۲۱۷																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	—	—	—	—	۷۲	۱۰۰	۷۲																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	۵۶	۴۸/۲	۶۰	۵۱/۸	—	—	۱۱۶																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	اداری	—	—	—	—	۵۷	۱۰۰	۵۷																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	—	—	—	—	۱۸	۱۰۰	۱۸																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	—	—	—	—	۷	۱۰۰	۷																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
مخاطرات ارگونومیک	اداری	۱۲	۴	۲۸۳	۹۴/۴	۵	۱/۶	۳۰۰																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	۴	۱۲/۲	۲۹	۸۷/۸	—	—	۳۳																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	۲	۱۳/۳	۱۰	۶۶/۷	۳	۲۰	۱۵																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	—	—	۱۰	۱۰۰	—	—	۱۰																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	۳	۹/۳	۲۷	۸۴/۵	۲	۶/۲	۳۲																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	—	—	۲۳	۶۷/۶	۱۱	۳۲/۴	۳۴																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	عملیاتی	—	—	۱۲	۱۰۰	—	—	۱۲																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

شکل (۲) مجموع سطوح ریسک تمامی عوامل زیان‌آور شغلی بررسی شده با استفاده از روش COHRA را به صورت کلی و در دو بخش اداری و عملیاتی بر حسب درصد نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، در مجموع مشاغل مورد بررسی ۵۹/۱ درصد از ریسک‌ها در سطح پایین، ۲۷/۴ درصد در سطح متوسط و درصد در سطح بالا قرار دارند.



شکل ۲: سطوح ارزیابی ریسک مشاغل مورد بررسی، الف) تمام مشاغل، ب) مشاغل اداری، ج) مشاغل عملیاتی

براساس نتایج حاصل از ارزیابی ریسک به ترتیب $1/3$ و $80/9$ درصد از مشاغل اداری و عملیاتی مورد بررسی از نظر ریسک صدا در سطح بالا قرار داشتند. با توجه به اینکه معیار تعیین خطر ارزیابی این عامل براساس کتابچه OEL کشوری در مشاغل اداری 70 دسیبل و در مشاغل عملیاتی 85 دسی بل می‌باشد، لازم است رویکردهای کنترلی متفاوتی برای کاهش سطح ریسک این مشاغل به کار گرفته شود. این رویکردها در مورد مشاغل اداری به طور عمده بر بهسازی سیستم تهویه مطبوع و نصب عایق‌های صوتی برای جلوگیری از نفوذ صدای مناطق عملیاتی متمرکز می‌باشند؛ در حالی که برای مشاغل عملیاتی مواردی همچون اقدامات کنترل مهندسی و مدیریتی و نیز استفاده از تجهیزات حفاظت شنوایی مورد نیاز است. در مورد روشنایی نیز 35 درصد از مشاغل اداری و 35 درصد از مشاغل عملیاتی دارای ریسک در سطح بالا بودند. به منظور کاهش ریسک روشنایی نامناسب به سطح قابل قبول ضروری است اقدامات لازم جهت تعویض لامپ‌های سوخته و نصب منابع روشنایی جدید براساس استانداردهای ایمنی و بهداشت حرفه‌ای صورت گیرد. بدیهی است که در تعیین سطح ریسک روشنایی در روش COHRA صرفاً میزان روشنایی اندازه گیری شده در نظر گرفته می‌شود و فاکتورهای کیفی روشنایی نظیر تجلی رنگ، درخشندگی و دمای رنگ ارزیابی نمی‌گردد. بنابراین هنگام انجام اقدامات کنترلی برای بهسازی منابع روشنایی می‌بایست این عوامل نیز در نظر گرفته شوند. همچنین در 84 درصد از مشاغل عملیاتی، سطح ریسک مواجهه با ارتعاش در حد متوسط ارزیابی شد. این مشاغل به طور عمده مربوط به فعالیت‌های تعمیراتی بودند که استفاده از تجهیزات مرتعش، بخش اصلی این مشاغل است و این مواجهه بیش از حد مربوط به ارتعاش دست و بازو می‌باشد. به منظور کاهش و کنترل ریسک ناشی از ارتعاش در این مشاغل ضروری است اقداماتی همچون کنترل مهندسی ارتعاش استفاده از تجهیزات جدید با ارتعاش کمتر، تدوین و اجرای برنامه کار - استراحت و استفاده از دستکش ضد ارتعاش صورت گیرد. علاوه بر این در مورد استرس حرارتی که تنها در مشاغل عملیاتی مشاهده می‌شود، $51/8$ درصد دارای سطح ریسک متوسط و $48/2$ درصد دارای سطح ریسک بالا بودند. با توجه به اینکه شرکت مورد نظر در جنوب کشور واقع شده است و استرس حرارتی همواره در طول سال وجود داشته و سطح ریسک آن بالا می‌باشد، ضروری است به منظور کاهش و کنترل این عامل، اغلب فعالیت‌های کاری در محیط‌های سر پوشیده انجام شود و یا در صورت عدم امکان در مشاغلی که سطح ریسک بالایی دارند، برنامه کار - استراحت منظم اجرا گردد.

ریسک مخاطرات ارگونومیک بر اساس کتابچه OEL کشوری در چهار دسته پوسچر نامناسب، حمل بار، هل دادن / کشیدن و بار کار جسمانی مورد ارزیابی قرار گرفت، در ارتباط با خطر پوسچر نامناسب نیز بر مبنای اینکه ماهیت شغل به چه صورت باشد و از چه روشی برای ارزیابی درجه مواجهه استفاده گردد، چهار گروه ROSA (فعالیت‌های اداری)، RULA REBA (مشاغل عملیاتی) که در آن‌ها بالاترین درجه بیشتر درگیر است) و QEC (مشاغلی با پیچیدگی شغلی بیشتر) مورد استفاده قرار گرفتند. هل دادن و کشیدن بار نیز توسط جداول استوک ارزیابی گردیدند. مطابق با نتایج جدول (۶)، سطح ریسک مخاطرات ارگونومیک در شرکت مورد مطالعه در حد متوسط ارزیابی شد. به منظور کاهش و کنترل سطح ریسک مخاطرات ارگونومیک در بخش اداری می‌توان به تغییر ایستگاه کاری کار با رایانه، تغییر صندلی‌های ثابت به صندلی‌هایی با قابلیت تنظیم ارتفاع و آموزش در مورد ارگونومی کار با رایانه و در بخش عملیاتی به آموزش نحوه صحیح انجام کار اشاره کرد.

۴- نتیجه‌گیری

- از بین مخاطرات مورد بررسی ریسک صدا، روشنایی و ارتعاش در سطح بالا، استرس حرارتی و پوسچر نامناسب در سطح متوسط و بقیه عوامل در سطح پایین ارزیابی گردیده‌اند.
- در مجموع مشاغل مورد بررسی $59/1$ درصد از ریسک‌ها در سطح پایین، $27/4$ درصد در سطح متوسط و درصد در سطح بالا قرار دارند.
- براساس نتایج حاصل از ارزیابی ریسک به ترتیب $1/3$ و $80/9$ درصد از مشاغل اداری و عملیاتی مورد بررسی از نظر ریسک صدا در سطح بالا قرار داشتند.
- در مورد روشنایی نیز 35 درصد از مشاغل اداری و 35 درصد از مشاغل عملیاتی دارای ریسک در سطح بالا بودند.
- همچنین در 84 درصد از مشاغل عملیاتی، سطح ریسک مواجهه با ارتعاش در حد متوسط ارزیابی شد.
- در مورد استرس حرارتی که تنها در مشاغل عملیاتی مشاهده می‌شود، $51/8$ درصد دارای سطح ریسک متوسط و $48/2$ درصد دارای سطح ریسک بالا بودند.
- سطح ریسک مخاطرات ارگونومیک در حد متوسط ارزیابی شد.

- [1] Bahman Abdolhamidzadeh NB. Qualitative and quantitative risk assessment in process industries and method description of industrial hazards recognition focusing on method of Hazop. 4th ed. Tehran: Andishehsara; 2014.
- [2] Jahangiri M, Jalali M, Saeidi CH, Mohammadpour H, Mardi H, Mehr Alipour J. Health risk assessment of harmful chemicals in order to provide control guidelines: case study in a polyurethane foam industry. *Occup Med Quart J*. 2014;5(4):33-41.
- [3] Malakouti J, Jang S, Mosaferchi S, Hasely F, Azizi F, Mahdinia M. Health risk assessment of occupational exposure to hazardous chemicals in laboratories of Qom University of Medical Sciences. *Iran Occup Health Journal*. 2014;11(2):13-25.
- [4] Aven T. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. *Eur J Operat Res*. 2016;253(1):1-13.
- [5] Ministry of Cooperatives Labour and Scocial Welfare. Occupational exposure limits (valume: chemical agents). 4th ed. Tehran: Health and Environment Center; 2016.
- [6] Jafari MJ, Karimi A, Rezazadeh Azari M. The challenges of controlling organic solvents in a paint factory due to solvent impurity. *Ind Health*. 2009;47(3):326-32.
- [7] Jahangiri M, Motovagheh M. Health risk assessment of harmful chemicals: case study in a petrochemical industry. *Iran Occup Health*. 2011;7(4):18-24.
- [8] Hallenbeck WH. Quantitative risk assessment for environmental and occupational health. Florida: CRC Press; 1993.
- [9] Volquind D, Bagatini A, Monteiro GM, Londero JR, Benvenuti GD. Occupational hazards and diseases related to the practice of anesthesiology. *Braz J Anesthesiol*. 2013;63(2):227-32.
- [10] Schulte PA, Murashov V, Zumwalde R, Kuempel ED, Geraci CL. Occupational exposure limits for nanomaterials: state of the art. *J Nanopart Res*. 2010;12(6):1971-87.
- [11] Punnett L, Wegman DH. Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *J Electromyogr Kinesiol*. 2004;14(1):13-23.
- [12] Chaiklieng S, Suggaravetsiri P, Autrup HN. Benzene exposure and human health risk assessment via biological monitoring among workers at gasoline stations. *BMJ*. 2018;75(2):A398.
- [13] Yari S, Fallah Asadi A, Varmazyar S. Assessment of semi-quantitative health risks of exposure to harmful chemical agents in the context of carcinogenesis in the latex glove manufacturing industry. *Asian Pac J Cancer Prev*. 2015;17(S3):205-11.
- [14] Jahangiri M, Jalali M, Saeidi CH, Mohammadpour H, Mardi H, Mehr Alipour J. Health risk assessment of harmful chemicals in order to provide control guidelines: case study in a polyurethane foam industry. *Occup Med Quart J*. 2014;5(4):33-41.
- [15] Ministry of Cooperatives Labour and Scocial Welfare. Occupational exposure limits (valume: chemical agents). 4th ed. Tehran: Health and Environment Center; 2016.
- [16] Occupational Safety and Health Administration. Hazard communication standard: safety data sheets. Washington, D.C: Occupational Safety and Health Administration; 2012.
- [17] Yari S, Fallah Asadi A, Varmazyar S. Assessment of semi-quantitative health risks of exposure to harmful chemical agents in the context of carcinogenesis in the latex glove manufacturing industry. *Asian Pac J Cancer Prev*. 2015;17(4):18-24.

نقشه‌های تهران معماری

تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم،
کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج، آزادگان، ابتدای بلوار مطهری،
کوچه شهید سبحانی، پلاک ۲۸، واحد ۴
۰۲۱ ۳۳۲۰ ۲۴ ۸۷
۰۲۶ ۳۴۴۵ ۳۱ ۳۱
۰۹۹۰ ۵۹۸ ۰ ۲۰۶
www.NRES.ir